

Aus dem Departement für Nutztiere
(Direktor Prof. Dr. U. Braun)
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

**Röntgenologischer Vergleich der lateralen und medialen Zehen
sowie Klauenvermessungen bei Wildwiederkäuern**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Anna Margaretha Keller

Tierärztin

von Schwellbrunn (AR)

genehmigt auf Antrag von

PD Dr. K. Nuss, Referent

Prof. Dr. J.-M. Hatt, Korreferent

Zürich, 2007
Zentralstelle der Studentenschaft

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-------|
| 1. Zusammenfassung | 3 |
| 2. Summary | 5 |
| 3. Einleitung und Zielsetzung | 7 |
| 4. Literaturübersicht | 9 |
| 4.1 Systematik und Vertreter der Wildwiederkäuer | 9 |
| 4.1.1 Gämse (<i>Rupicapra rupicapra</i>) | 10 |
| 4.1.2 Bison (<i>Bison bison</i>) | 11 |
| 4.1.3 Damhirsch (<i>Dama dama</i>) | 11 |
| 4.1.4 Elch (<i>Alces alces</i>) | 12 |
| 4.2 Anatomische Grundlagen der Zehenknochen | 12 |
| 4.2.1 Allgemeiner Aufbau | 12 |
| 4.2.2 Röhrbeine | 12 |
| 4.2.3 Fesselbein | 14 |
| 4.2.4 Kronbein | 15 |
| 4.2.5 Klauenbein | 16 |
| 4.2.6 Sesambeine | 17 |
| 4.2.7 Klauen | 17 |
| 4.3 Vergleichende Anatomie verschiedener Wiederkäuer | 20 |
| 4.4 Biomechanische Aspekte der Zehen beim Rind | 24 |
| 4.5 Messungen | 25 |
| 4.5.1 Methodik der radiologischen Messung | 25 |
| 4.5.2 Besonderheiten der Röntgenanatomie | 25 |
| 4.5.3 Messtechniken an Rinderzehen | 27 |
| 4.5.4 Messgenauigkeit des Messprogramms Metron PX TM | 29 |

| | |
|--|-----|
| 5. Eigene Untersuchungen | 31 |
| 5.1 Material und Methodik | 31 |
| 5.2 Adspektorische Untersuchung der Präparate | 34 |
| 5.3 Messungen an den Klauen | 35 |
| 5.4 Röntgenologische Untersuchung | 36 |
| 5.5 Messungen an den Röntgenbildern | 37 |
| 5.6 Anatomische Besonderheiten anhand der Röntgenbilder | 41 |
| 5.7 Statistische Methoden | 46 |
| 6. Ergebnisse | 47 |
| 6.1 Beurteilung der Klauen und Messungen am Klauenschuh | 47 |
| 6.1.1 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Gämsen | 47 |
| 6.1.2 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Bisons | 49 |
| 6.1.3 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Damhirschen | 52 |
| 6.1.4 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Elchen | 54 |
| 6.1.5 Zusammenfassung der Befunde am Klauenschuh | 56 |
| 6.2 Ergebnisse der Messungen am Röntgenbild | 58 |
| 6.2.1 Röntgenmessungen an Zehen von Gämsen | 58 |
| 6.2.2 Röntgenmessungen an Zehen von Bisons | 65 |
| 6.2.3 Röntgenmessungen an Zehen von Damhirschen | 71 |
| 6.2.4 Röntgenmessungen an Zehen von Elchen | 78 |
| 6.2.5 Zusammenfassung der Befunde | 85 |
| 6.3 Vergleich der Befunde der Messungen am Klauenschuh mit den gemessenen Zehenlängen und -breiten des Klauenbeins | 88 |
| 7. Diskussion | 90 |
| 8. Literaturverzeichnis | 102 |
| 9. Lebenslauf | 108 |
| 10. Danksagung | 109 |

1. Zusammenfassung

Durch eine röntgenologische, digitale Vermessung wird an den Zehen von 11 Gämsen, 11 Bisons, 11 Damhirschen und 11 Elchen bestimmt, ob Unterschiede zwischen den lateralen und medialen Zehenknochen vorhanden sind. Neben der Länge werden die Breite der Zehenknochen, der Verlauf der Röhreibein- und der Zehenachse sowie einige Messungen am Klauenschuh bestimmt. Dazu werden die Füße der genannten Wildwiederkäuerarten postmortal im palmaro- oder plantarodorsalen Strahlengang geröntgt. Die Aufnahmen werden digital gespeichert und die Knochenschatten mit Hilfe des Programms Metron PX™ ausgemessen. Die Klauenmasse werden durch direkte Messungen mit einer Präzisionsschublehre erhoben. Das Signifikanzniveau wird auf $p < 0.05$ festgelegt.

Die lateralen Zehenknochen sind generell länger als die entsprechenden medialen. Dies besagt sowohl der Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Knochen als auch die Verteilung der „Längendominanz“, aus der hervorgeht, wie oft im Einzelnen die lateralen Zehenknochen länger als die medialen sind. An den Schultergliedmassen besteht bei den untersuchten Wildwiederkäuerarten eine Längendominanz von 73-95 % der lateralen gegenüber der medialen Zehenknochen und eine entsprechende von 90-100 % an den Beckengliedmassen. Die aus den Mittelwerten der einzelnen Zehenknochen aufaddierte „Gesamtlänge“ der lateralen Zehe ist bei allen vier untersuchten Wildwiederkäuerarten signifikant länger als die der medialen Zehenknochen. Die „Gesamtlängen“ der Beckengliedmassen sind grösser als die der Schultergliedmassen.

Die medialen Zehenknochen zeigen sich breiter als die lateralen, mit Ausnahme des Klauenbeins. Das laterale Klauenbein ist bei allen vier Wildwiederkäuerarten an Vorder- und Hintergliedmasse breiter als das mediale. Die Kronbeine zeigen die grösste Variabilität in Bezug auf die Breite, so dass keine einheitlichen Unterschiede festzustellen sind.

Die Linie der verlängerten Mittelachse der Röhreibe kommt bei den Zehen der 44 Wildwiederkäuer (n = 176) in 80 % mehr lateral zu liegen. Bei den 35 Zehen, bei denen dies nicht der Fall ist, sind 28 Vordergliedmassen und nur 7 Hintergliedmassen betroffen.

Die Aussenklauen sind an den Beckengliedmassen im Vergleich zu den Innenklauen breiter, während die Innenklauen meist an allen Gliedmassen die grössere Dorsalwandlänge aufweisen. In der Regel sind die Klauenschuhe der Schultergliedmassen grösser dimensioniert als die der Beckengliedmassen. Tierartliche und tierindividuelle Unterschiede sind jedoch sowohl an den Knochen als auch an den Klauen vorhanden.

Der festgestellte Längenunterschied sowie die Breitenunterschiede sind bei Paarhufer offensichtlich evolutionsbedingt. Diese besitzen somit zwar eine gleiche Anzahl, aber ungleiche Zehen. Der besonders an den Beckengliedmassen auffällige Längenunterschied dürfte in einer besseren Standfestigkeit sowie Schubfunktion auf weichem Boden resultieren. Die etwas breiteren Knochen der Innenklauen könnten mehr Anteil an der Lastaufnahme signalisieren. Bei einzelnen Tieren der vorliegenden Untersuchung, die in Gefangenschaft gehalten werden, finden sich Anzeichen für eine Überlastung der Aussenklauen der Beckengliedmassen. Dies deutet darauf hin, dass bei Wildwiederkäuer, die auf hartem Untergrund und räumlich eingeschränkt gehalten werden, möglicherweise Klauenveränderungen ähnlich wie bei Hausrindern zu erwarten sind.

2. Summary

The digits of 11 chamois (*Rupicapra rupicapra*), 11 European bison (*Bison bonasus*), 11 fallow deer (*Dama dama*) and 11 Eurasian elk (*Alces alces*) were radiographed to determine possible differences in the bones of the lateral and medial digits. The length and width of the digits, the course and axis of the metacarpal/metatarsal bones, and three dimensions of the claws were measured. Palmarodorsal or plantarodorsal radiographic views of the digits were taken at post mortem in all the animals. The views were stored digitally, and measurements were made using a computer software program (Metron PX™). Direct claw measurements were made using calipers. A value of $p < 0.05$ was considered significant.

The bones of the lateral digits were generally longer than the corresponding bones of the medial digits. This was evident from the comparison of the means of the various bones as well as from the distribution of the frequencies with which the lateral phalangeal bones were longer than the corresponding medial bones. In the forelimb, 73 to 95 % of the lateral phalangeal bones were longer than the medial counterparts and in the hind limb, 90 to 100 % of the lateral phalangeal bones were longer. The entire length of the lateral digits, which was calculated by adding the means of the respective phalangeal bones, was significantly greater than that of the medial digits in all four species. The respective values of the hind limbs were greater than that of the forelimbs.

With the exception of the pedal bone, the phalangeal bones of the medial digits were wider than those of the lateral digits. The third phalanx of the lateral digits was wider than the third phalanx of the medial digits in both the forelimbs and hind limbs in all four species. The second Phalanx showed the greatest variability with regard to width and no consistent differences could be established.

An elongated imaginary line along the central axis of the metacarpal/tarsal bones ran closer to the lateral claw in 80 % of 176 digits. Of the 35 digits in

which this line ran closer to the medial claws, 28 were in a forelimb and 7 in a hind limb.

In the hind limbs, the lateral claws were wider than the medial claws, whereas in the hind and forelimbs, the medial claws had a longer dorsal wall. The claws of the forelimbs had larger dimensions than those of the hind limbs. However, there were variations in the relation of the size of phalangeal bones and claws among and within species.

Presumably, differences in the length and width of the bones of cloven-hoofed mammals are preserved among different species. Although all of these species have a pair of digits, the digits themselves differ in size and function. The difference in length of the lateral and medial digits, which is particularly pronounced in the hind limbs, gives the animal better stability and greater propulsive force when walking on soft ground. The greater width of the medial phalangeal bones could reflect higher weight-bearing by the medial digits. In some of the animals of this study that were kept in captivity, there were signs of stress in the lateral claws of the hind limbs. This indicated that wild ruminants kept in limited spaces and on hard surfaces can be expected to suffer claw diseases analogous to those occurring in domestic cattle.

3. Einleitung und Zielsetzung

Gliedmassen- und Klauenerkrankungen stellen in der Rinderhaltung ein grosses wirtschaftliches und tierschützerisches Problem dar. Nahezu 90 % aller Lahmheitsursachen sind im Klauenbereich zu finden (Berger, 1988; Clarkson et al., 1996). Sohlengeschwüre treten überwiegend an den lateralen Klauen der Hintergliedmassen auf (Rusterholz, 1920; Martig, 1979). Messungen der Bodenreaktionskräfte unter den Klauen zeigen, dass an den Vordergliedmassen die Innenklauen und an den Hintergliedmassen die Aussenklauen vermehrt belastet werden (Ossent et al., 1987; Toussaint Raven, 1985; Van der Tol et al., 2002; Alsleben et al., 2003; Huth et al., 2004). Die lateralen Klauen der Beckengliedmassen von Kühen und Jungbullen sind sowohl von ihrer Aussen- als auch von ihrer Innenstruktur her grösser als die Innenklauen (Paulus und Nuss 2006).

Daraus und aus der Krankheitsdisposition entsteht die Hypothese, dass eine Asymmetrie der Zehen natürlicherweise vorhanden ist (Paulus und Nuss, 2002). Nacambo et al. (2004) zeigen, dass der laterale Kondylus an den Ossa metacarpalia und metatarsalia geringgradig länger ist als der mediale. Durch röntgenologische Messungen weist Schwarzmann (2005) bei Kälbern an Schulter- und Beckengliedmasse eine längere laterale Zehe nach, allerdings misst sie nur bis zum Klauengelenk.

Aufgrund dieser bisherigen Kenntnisse lautet die Hypothese für die vorliegende Untersuchung, dass ein derartiger Längenunterschied nicht nur beim Hausrind, sondern auch bei Wildwiederkäuern vorkommt und evolutionsbedingt ist. Analog treten bei in Gefangenschaft gehaltenen Paarhufern häufig Erkrankungen der Zehen auf, welche einen tierärztlichen Eingriff erfordern. Das Zurückschneiden der Klauen gehört zu den Routinearbeiten bei Wildwiederkäuern (Fowler, 1980). Eine Voraussetzung hierbei ist die Kenntnis der Anatomie.

Die Hauptaufgabe dieser Arbeit besteht darin, die Zehenknochen von verschiedenen Wildwiederkäuerarten röntgenologisch auszumessen. Daneben sollen einige Parameter für die Klauengrößen erfasst werden. Das Ziel ist, durch diese Messungen die anatomischen Begebenheiten der Zehen darzustellen, mögliche Schlüsse auf deren Funktion zu ziehen und daraus eventuelle Haltungsempfehlungen für Wildwiederkäuer abzuleiten.

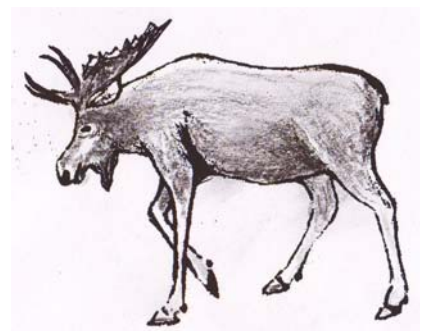
4. Literaturübersicht

4.1 Systematik und Vertreter der Wildwiederkäuer

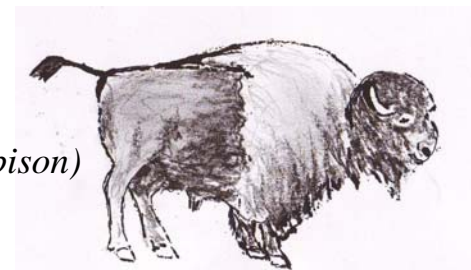
Die Wiederkäuer (*Ruminantia*) sind eine Unterordnung der Paarhufer (*Artiodactyla*). Die Paarhufer oder paarzehigen Huftiere besitzen eine gerade Anzahl von Zehen, nämlich zwei oder vier. Die Mittelachse eines Beins liegt bei Paarhufern zwischen der dritten und vierten Zehe, welche am stärksten ausgebildet sind. Zwei Vertreter der Hirschfamilie und zwei der Familie der Hornträger werden in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt, nämlich Elch, Damhirsch, Bison und Gämse. Beim Elch handelt es sich um einen Vertreter der Unterfamilie der Trughirsche, der Damhirsch gehört zur Unterfamilie der echten Hirsche. Der amerikanische Bison ist ein Vertreter der Unterfamilie der Rinder, die Gämse gehört zur Unterfamilie der Ziegenartigen. Die Systematik der Wiederkäuer (Simpson, 1984; Thenius, 1988) ist nachfolgend aufgeführt. Fettgedruckt sind die für die Dissertation ausgewählten Arten.

Wiederkäuer (*Ruminantia*)

- Familie: Giraffenartige (*Giraffidae*)
- Familie: Gabelhornträger (*Antilocapridae*)
- Familie: **Hirsche** (*Cervidae*)
 - Unterfamilie: **Trughirsche** (*Caprolinae*)
 - Gattung: *Capreolus*
 - Gattung: *Rangifer*
 - Gattung: **Alces**
 - Art: **Elch** (*Alces alces*)



- Unterfamilie: **Echte Hirsche** (*Cervinae*)
 - Gattung: Elaphurus
 - Gattung: **Dama**
 - Art: **Damhirsch** (*Dama dama*)
- Familie: **Hornträger** (*Bovidae*)
 - Unterfamilie: Gazellenartige (*Antilopinae*)
 - Unterfamilie: **Rinder** (*Bovinae*)
 - Gattung: Syncerus
 - Gattung: Bos
 - Gattung: **Bisons**
 - Art: **Amerikanischer Bison** (*Bison bison*)
 - Art: Wisent (*Bison bonasus*)
 - Unterfamilie: Ducker (*Cephalophinae*)
 - Unterfamilie: Pferdeböcke (*Hippotraginae*)
 - Unterfamilie: **Ziegenartige** (*Caprinae*)
 - Gattung: **Rupicapra**
 - Art: **Gämse** (*Rupicapra rupicapra*)
 - Art: Pyrenäen-Gämse (*Rupicapra pyrenaica*)
 - Gattung: Ovibos
 - Gattung: Ziegen (*Capra*)
 - Gattung: Schafe (*Ovis*)



(Bilder: Keller, W. 2007)

4.1.1 Gämse (*Rupicapra rupicapra*)

Die Gämse zählt zur Unterfamilie der ziegenartigen Hornträger. Ihr Lebensraum befindet sich um den oberen Waldgürtel im Alpengebiet. Die Gämse besitzt eine schlanke, ziegenartige Statur und erreicht bei einer Widerristhöhe von 75 cm ein Gewicht von bis zu 50 kg. Beide Geschlechter sind mit bis zu 25 cm langen, an der Spitze hakenförmig nach rückwärts gebogenen Hörnern (Krucken) bestückt,

die nicht abgeworfen werden. Das Fell ist rötlich-braun, im Winter fast schwarz, über den Rücken zieht sich ein Streifen (Aalstrich) von längeren, schwarzen Haaren (Walker, 1968; Nüsslein, 2002).

4.1.2 Bison (*Bison bison*)

Die Bisons sind eine Gattung auf der Nordhalbkugel verbreiteter Wildrinder, wovon es heute zwei Vertreter gibt, den Amerikanischen Bison (*Bison bison*) und den in Europa vorkommenden Wisent (*Bison bonasus*). Mit einer Körperlänge von bis zu 380 cm und einer Widerristhöhe von bis zu 2 m können die Bisons ein Gewicht von über 800 kg erreichen. Der Amerikanische Bison ist kompakter und kräftiger als der Wisent, hat längere, dunkelbraune Haare an den Vordergliedmassen, eine bucklige Schulter und ebensolchen Hals und besitzt einen kürzeren Schwanz. Beide Geschlechter tragen relativ kurze Hörner, die zeitlebens wachsen und nicht gewechselt werden. Der Kopf wird gesenkt getragen und liegt deutlich unter dem Widerrist (Walker 1968).

4.1.3 Damhirsch (*Dama dama*)

Der Damhirsch, in der Jägersprache Damwild genannt, ist ein in Mittel- und Südeuropa weit verbreiteter Hirsch. Mit seiner Kopfrumpflänge von 150 cm und einer Körperhöhe von 1 m ist er grösser als ein Reh, jedoch kleiner als ein Rothirsch. Das schaufelförmige Geweih mit Sprossen ist nur bei Männchen vorhanden und bildet sich jedes Jahr innerhalb von 4 Monaten neu, nachdem es im April abgeworfen wurde. Im Sommer ist das Fell rostbraun mit einem schwarzen Aalstrich auf dem Rücken. Es weist Flecken an Bauch und an den Flanken auf. Das Winterfell ist dunkler und die Flecken sind kaum noch zu erkennen (Walker, 1968; Nüsslein, 2002).

4.1.4 Elch (*Alces alces*)

Der Elch ist mit einer Kopfrumpflänge von bis zu 3 m, einer Schulterhöhe von 2.3 m und einem Gewicht bis zu 800 kg der grösste heute existierende Vertreter der Hirschfamilie. Er kommt in Europa, Asien und Nordamerika vor, wo er Wald-, Sumpf- und Taigagebiete bewohnt. Nur die männlichen Tiere tragen ein Geweih mit flächigen Schaufeln, die eine maximale Spannweite von 2 Metern erreichen können. Kennzeichnend für den Elch sind die breite, überhängende, knorpelige Oberlippe (Muffel), ein Hautsack an der Kehle des Männchens und ein sehr kurzer Schwanz von nur 10 cm, den man im Fell meist kaum sieht. Der Elch besitzt einen kurzen Hals und relativ lange Beine, womit er Hindernisse überwinden und in hohem Schnee gehen kann. Seine breiten, spreizbaren Hufe ermöglichen ihm ein gutes Vorwärtstreten in moorigen Gebieten (Kendelbacher, 1935; Walker, 1968; Kamke, 2007).

4.2 Anatomische Grundlagen der Zehenknochen

4.2.1 Allgemeiner Aufbau

Wiederkäuer sind Zehenspitzenläufer. Die Gliedmassenstrahlen sind bis auf die III. und IV. Zehe stark reduziert. Die rudimentären Afterklauen (II. und V. Strahl) besitzen bei den meisten Wiederkäuern keine Skelettverbindung (Nickel et al., 2004). Beim Elch jedoch besteht eine gelenkige Verbindung der Knochen der Afterzehen (Kendelbacher, 1935). Die evolutionsbedingten Reduktionsvorgänge sind an den Hinterextremitäten generell weiter fortgeschritten als an den Vorderextremitäten (Kendelbacher, 1935; Schäffer, 2005).

4.2.2 Röhrbeine

Der tragende Teil des metapodialen Skelettes der Vordergliedmasse besteht aus den Ossa metacarpalia III und IV, die zum Röhrbein zusammengewachsen sind. Eine analoge Entwicklung findet sich an den Hintergliedmassen aus den Ossa

metatarsalia III und IV. Der mediale Anteil der verschmolzenen Metapodien, also jener des III. Strahles, ist etwas stärker ausgebildet als der laterale Anteil (Bartosiewicz, 1997; Schäffer, 2005). Die fast ebene Facies articularis carpea gliedert sich in einen medialen, etwas stärker ausgebildeten, eher viereckigen Anteil des III. Strahls und eine etwas kleinere, mehr dreieckige Gelenkfläche des IV. Strahls. Das Hauptmerkmal zur Bestimmung der Seitenzugehörigkeit beim Os metatarsale ist gleichfalls die schmalere laterale Gelenkfläche bei der Aufsicht auf das proximale Knochenende. Der Unterschied zwischen lateral und medial ist aber nicht so gross wie an der Vordergliedmasse. Ferner weist der laterale Teil der Fläche am Os metatarsale eine kleine plantare Gelenkfacette auf. Neben den knöchernen Merkmalen dient die meist vorhandene Sehne des M. extensor digitorum lateralis als Unterscheidungsmerkmal (Nickel et al., 2004; Schäffer, 2005). Der Sulcus longitudinalis dorsalis sowie der Sulcus longitudinalis palmaris/plantaris verlaufen auf der gewölbten Facies dorsalis und der ebenen Facies palmaris und sind distal, oft auch proximal, durch einen durchbohrenden Kanal, den Canalis metacarpi/metatarsi verbunden. Ein Relikt der getrennten Knochenanlagen ist die in der Markhöhle verlaufende, im Alter sich stark zurückbildende sagittale Scheidewand, die proximal oft fehlt. Das distale Caput der Röhreibe ist zweigeteilt und getrennt durch die Incisura intertrochlearis. Jeder Kondylus trägt eine Zehe. Nach Nacambo (2005) besteht bei Kälbern ein Längenunterschied zwischen den Ossa metacarpalia und metatarsalia von 2 cm, wobei die Knochen der Beckengliedmassen länger sind, bei einem Verhältnis der Mittelwerte von 1 : 1.125. Sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmasse sind seinen Untersuchungen zufolge die laterale Knochenseite und die lateralen Kondylen im Mittelwert signifikant länger als die medialen. Er vermutet in diesem anatomischen Unterschied eine mögliche Ursache für die Prädisposition von Erkrankungen an den lateralen Klauen der Beckengliedmassen (Nacambo, 2005).

Paral et al. (2004) beobachten an den Schultergliedmassen drei mögliche Relationen zwischen der Länge von Metakarpus III und IV. Teilweise ist das Os metacarpale III länger als das Os metacarpale IV, manchmal sind beide Knochen gleich lang, und zum Teil ist das Os metacarpale IV länger als das Os metacarpale III. Nach ihren Messungen am Metatarsus ist das Os metatarsale IV in jedem Fall länger als das Os metatarsale III. Weiter untersuchten Paral et al. (2004) die Korrelation der Weite der Markhöhle zu der Gesamtbreite des Knochens. Er hält fest, dass die relative Weite der Markhöhle mit dem Alter negativ korreliert. Die aufbauenden und resorptiven Prozesse der Knochen hängen ihrer Ansicht nach von den Ansprüchen an mechanische Kraft und von der Knochenresistenz ab. Auch ihre Messungen zeigen, dass die Röhrenknochen der Hintergliedmassen stets länger sind als die der Vordergliedmassen (Paral et al., 2004).

4.2.3 Fesselbein

Das Fesselbein, Os compedale oder Phalanx proximalis, ist ein Knochen von zylindrischer Form. Er besitzt eine Palmarfläche und zwei Seitenflächen, die durch den abgerundeten Dorsalrand miteinander verbunden sind (Ellenberger und Baum 1943; Nickel et al., 2004). Nach Ranft (1936) ist die proximale Breite bei Kälbern grösser als die distale; bei Kühen, Ochsen und Bullen dagegen sei es umgekehrt. Die proximale Gelenkfläche, Fovea articularis, ist durch eine Sagittalrinne in zwei Flächen gegliedert, von denen die schmalere axiale weiter distal liegt. Palmar bzw. plantar befinden sich Gelenkflächen für die Sesambeine. Proximal finden sich Bandhöcker im palmaren bzw. plantaren Bereich, ebenso distal beiderseits an der Gelenkwalze. Die Gelenkwalze der Fesselbeine hat die Form eines schräg stehenden Sattels, dessen kleinere axiale Fläche wiederum weiter distal gelegen ist (Nickel et al., 2004).

Engel stellt fest, dass die Fessel- und Kronbeine der dritten Zehe „stärker“ sind als die der vierten (Engel, 1919). Nach Ranft (1936) sind die Fesselbeine der

Hintergliedmassen bei Kühen länger und schlanker als die vorderen. Die abaxiale Höhe des lateralen Knochens liegt in seinen Messungen in ihrem Werte nur sehr wenig über der des medialen. Bei über 70 % der Fälle ist jedoch die axiale Höhe der lateralen Knochen grösser als die entsprechende der medialen. Somit sind seiner Untersuchung nach die lateralen Fesselbeine leicht länger. Schwarzmann (2005) stellt fest, dass sowohl an den Hinter- als auch an den Vordergliedmassen das laterale Fesselbein signifikant länger ist als das mediale (Ranft, 1936; Schwarzmann, 2005).

4.2.4 Kronbein

Das Kronbein, *Os coronale* oder *Phalanx media*, ähnelt im Aufbau dem des Fesselbeines, ist aber kürzer als dieses. Die Kronbeine der Vordergliedmasse nähern sich der Würfelform mehr an als die der Hintergliedmassen (Ranft, 1936). Die durch den Sagittalkamm zweigeteilte Gelenkfläche, *Fovea articularis*, bildet das Gegenstück zum distalen Fesselbeinende. Der Sagittalkamm bildet dorsal einen freien Fortsatz, den *Processus extensorius*, der lehnenartig die Gelenkvertiefung überragt und so die Stütze für das Fesselbein bildet. Die palmare bzw. plantare Berandung ist zur Kronbeinlehne, *Tuberositas flexoria*, verdickt (Ellenberger und Baum 1943). Seitlich von dieser ragen an der Palmar- resp. Plantarfläche die proximalen Bandhöcker vor. Die Gelenkfläche der sattelförmigen Walze ist in eine schmale axiale und eine breite abaxiale gegliedert. Sie erstreckt sich palmar und dorsal, nach Habacher nur dorsal, weit nach proximal (Habacher, 1948). Dorsal endet sie an den Kronbeinen der Schultergliedmasse spitz, an denen der Hintergliedmasse oval. Die Kronbeine der vierten Zehe sind oft länger als die der dritten, und die Kronbeine der Beckengliedmassen sind länger als die der Schultergliedmassen (Ranft, 1936). Die lateralen Kronbeine sind nach seinen Vermessungen etwas schlanker als die medialen und die hinteren wiederum schlanker als die vorderen. Weiter stellt er fest, dass die Gelenkfläche des Kronbeines der dritten Zehe grösser ist als die

der vierten. Schwarzmann hingegen findet anhand röntgenologischer Aufnahmen von Kälberzehen keinen signifikanten Längenunterschied zwischen den lateralen und den medialen Kronbeinen (Schwarzmann, 2005).

4.2.5 Klauenbein

Das Klauenbein, *Os ungulare* oder *Phalanx distalis*, hat, wie auch der Klauenschuh, bei Kälbern die Form eines gleichschenkligen Dreiecks. Wand-, Sohlen- und Gelenkfläche sind pyramidenförmig angeordnet (Ranft, 1936). Die Wandfläche stösst am Sohlenrand, *Margo solearis*, auf die Sohlenfläche. Der Kronrand, *Margo coronalis*, trennt die Wand- von der Gelenkfläche und ist dorsoaxial zum Streckfortsatz, *Proc. extensorius* ausgezogen (Nickel et al., 2004). Der *Proc. extensorius* wird mit zunehmendem Alter breiter und knolliger (Simon, 1963; Ebeid, 1992). Die Wandfläche, *Facies parietalis*, wird eingeteilt in die schwach ausgehöhlte Klauenspaltfläche, *Facies axialis* und die gewölbte Aussenfläche, *Facies abaxialis*. Nahe dem äusseren Sohlenrand verläuft die Wandrinne, *Sulcus parietalis*, und endet palmar am Wandloch, *Foramen abaxiale*. Proximodorsal an der *Facies axialis* ist das Klauenspaltloch, *Foramen axiale*, gelegen. Die Wandfläche weist noch zahlreiche andere Gefässlöcher auf, die mit zunehmendem Alter grösser werden (Simon, 1963). Der Dorsalrand, *Margo dorsalis*, verläuft als stark abgerundete Kante zwischen Klauenbeinspitze und Streckfortsatz (Ellenberger und Baum 1943). Die Sohlenfläche, *Facies solearis*, fällt mit ihrem *Planum cutaneum* von der Zehenachse dachartig nach aussen ab. An ihrem verdickten palmaren Ende, *Tuberculum flexorium*, haftet die tiefe Beugesehne an. Die Gelenkfläche, *Facies articularis*, ist der Kronbeinwalze entsprechend ausgehöhlt und palmar mit einer schmalen *Facies articularis sesamoidea* ausgestattet (Nickel et al., 2004).

Die Klauenbeine der Schultergliedmassen von Kühen, Bullen und Ochsen sind grösser und länger als die der Beckengliedmassen (Ranft, 1936). Diesen Befund bestätigt Simon (1963). Er stellt weiter fest, dass die medialen Klauenbeine der

Vordergliedmassen länger und grösser sind als die lateralen. Bezüglich der Klauenbeine der Hintergliedmassen sind die Resultate uneinheitlich. Hingegen zeigen röntgenologische Messungen, dass die Klauenbeine der Vordergliedmassen breiter (31.88 mm), aber kürzer (47.6 mm) sind als die Klauenbeine der Hinterbeine. Letztere erreichten eine Breite von 30.55 mm bei einer Länge von 51.3 mm (Ebeid, 1992).

Das Klauenbein der dritten Zehe ist meist länger als das der vierten (Engel, 1919; Ranft, 1936). Die medialen Klauenbeine der Schultergliedmassen sind nach Simon (1963) in 75-85 % der Fälle länger, breiter und schwerer als die lateralen. An den Hinterbeinen besteht kein derartiger Unterschied. Das Verhältnis von Länge und Breite verschiebt sich von den Kälbern über die Kühe, Ochsen zu den Bullen zugunsten der Breite, was als Geschlechtsdiagnostikum gelten kann (Ranft, 1936). Das Tuberculum flexorium der lateralen Klauenbeine der Hintergliedmassen ist meist stärker entwickelt als das der medialen, vermutlich infolge einer vermehrten Belastung der lateralen Klaue (Simon, 1963).

4.2.6 Sesambeine

Das Os sesamoideum distale ist platt und oval. Die konkave Gelenkfläche trägt einen hohen, die konvexe Palmarfläche einen niedrigen Sagittalkamm. Die Klauensesambeine artikulieren sowohl mit dem Klauen- als auch mit dem Kronbein. Sie sind Bestandteil der palmaren/plantaren Gelenkkapselwand, vergrössern die Gelenkfläche und dienen als Gleitrollen für das Endstück der tiefen Beugesehnen (Nickel et al., 2004).

4.2.7 Klauen

Eine sich über 3 Jahre erstreckende Studie von Nüske und Scholz (2004) an Klauen von 120 Rindern stellt fest, dass bei Klauen von 3 Monate alten Kälbern

keine signifikanten Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Tieren bestehen, wobei bei männlichen Kälbern die Dorsalwandlänge minimal länger ist. Schwarzmann (2005) hingegen findet einen signifikanten Geschlechtsunterschied bei Kälbern hinsichtlich der Werte für den Dorsalwandwinkel, die Sohlenfläche, die Ballenlänge und die Ballenhöhe, die bei männlichen Tieren grösser sind. Sie stellt an den medialen Klauen von Kälbern eine signifikant grössere Dorsalwandlänge (51.3 mm) als an den lateralen Klauen (49.7 mm) fest (Schwarzmann, 2005). Nach ihren Messungen ist die Sohle der lateralen Klauen an Schulter- und Beckengliedmassen breiter als die der medialen. Auch nach Nacambo et al. (2004) sind die lateralen Klauen von Kälbern an Schulter- und Beckengliedmassen regelmässig breiter als die medialen, sowie die Dorsalwandlänge der medialen Klauen grösser als die lateralen.

An den Beckengliedmassen von Jungbullen und Kühen bestehen beträchtliche Grössenunterschiede zwischen den Innen- und Aussenklauen (Paulus, 2004; Nuss und Paulus 2006; Paulus und Nuss 2006). Paulus und Nuss untersuchen an Gliedmassenpräparaten die Klauengrössen der Beckengliedmassen von 40 Kühen und 40 Mastbullen. Als Referenzwert für ihre Messungen stellen sie eine definierte Sohlendicke (5 mm an der Klauenspitze, 8 mm am Ballen) her. Erst nachdem alle Klauen die gleiche Sohlendicke haben, erheben sie die Messwerte. Diese sind Dorsalwandlänge, -winkel, Ballenlänge und -höhe, Sohlenlänge und -breite, Diagonallänge, Sohlenfläche und Sohlenumfang (Abb. 1). Typisch für die Klauen männlicher Tiere sind die steilere, kürzere Dorsalwand, eine kürzere und breitere Sohle sowie ein grösserer Ballen. Wenn Aussen und Innenklaue Klauen die definierte Sohlendicke aufweisen, ragt die Aussenklaue nach distal über das Niveau der Innenklaue hinaus. Paulus (2004) diskutiert eine anatomische Ungleichheit hinsichtlich der Länge von Aussen- und Innenklauen, erwägt anderseits die Möglichkeit der Hypertrophie des Weichgewebes der Aussenklaue. Die Länge der Dorsalwand ist bei definierter Sohlendicke an lateraler und medialer Klaue gleich. Für einen anatomischen Längenunterschied

zwischen lateraler und medialer Zehe spricht, dass die Dorsalwand an der Aussenklaue kürzer als an der Innenklaue wird, wenn man die Sohle der Aussenklaue bis auf das Sohlenniveau der Innenklaue abträgt. Wird anschliessend die Sohlenfläche der Aussenklaue auf das Niveau der Innenklaue angepasst, führt das zu einer deutlich geringeren Sohlendicke an der Aussenklaue. Paulus und Nuss schliessen daraus, dass die Aussenklauen weiter nach distal ragen als die Innenklauen und dadurch vermehrt belastet werden. Dies kann der Grund sein, dass sie häufiger an Sohlengeschwüren erkranken und stärker an Klauenrehe leiden als die Innenklauen (Paulus und Nuss 2002; Paulus und Nuss 2006). Da mit dem Alter der Ballen der medialen Klauen niedriger wird, kommt es durch die Angleichung der Aussen- an die Innenklaue zu einer starken Kürzung des Ballens der Aussenklaue.



Abb. 1: Messung der Dorsalwandlänge und der Ballenbreite und Ballenlänge (Paulus 2004). Die Messpunkte sind so definiert, dass sie wiederholbar und bei verschiedenen Tieren anwendbar sind.

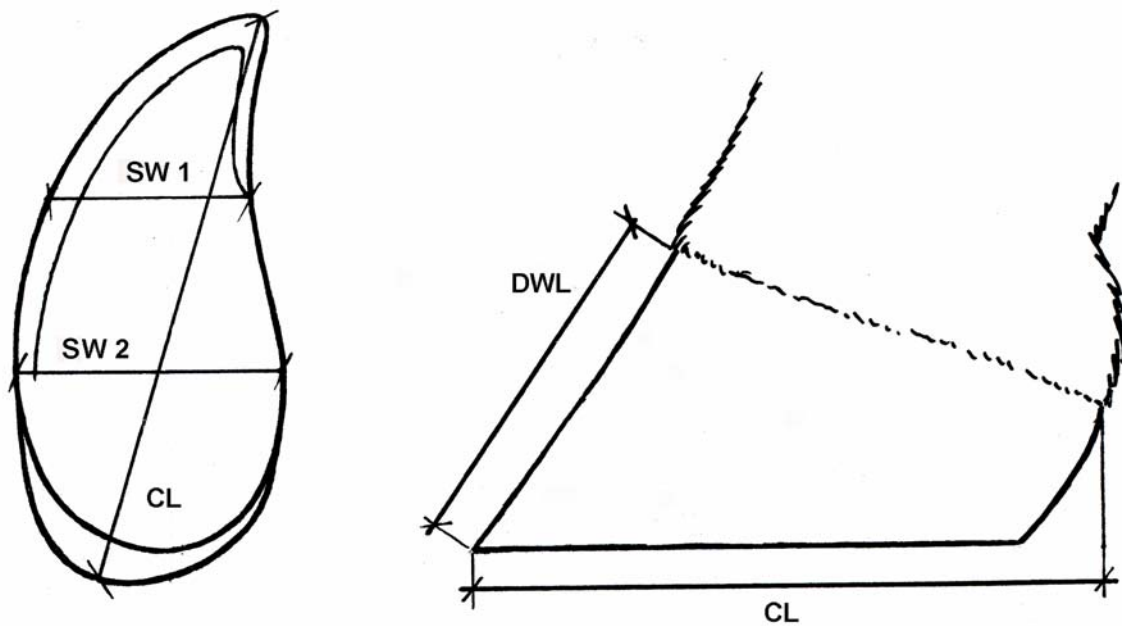


Abb. 2: Erheben von Klauenmassen bei Kälbern, Nacambo (2005). Die Sohlenbreite wird an zwei Stellen (SW 1 und SW 2) erhoben. SW 1 liegt am axialen Ende der Wand, am Beginn der Hohlkehlung. SW 2 liegt am Ende der abaxialen Wand. Die Dorsalwandlänge (DWL) und die diagonale Klauenlänge (CL) entsprechen den Methoden von Paulus (2004).

Nach den Untersuchungen von Nüske und Scholz (2004) zeigt sich erst im Alter von 21 Monaten ein klarer Einfluss des Geschlechtes auf die Dorsalwandlänge, trotz gleicher Haltungsbedingungen. Weibliche Rinder weisen dann längere Klauen auf als Stiere. Bei Rindern ist die mediale Klaue der Vordergliedmassen deutlich länger als die laterale. Bei den Hintergliedmassen kann kein eindeutiger Unterschied zwischen lateraler und medialer Klaue festgestellt werden. Es werden keine Referenzwerte für die Erhebungen der Klauenparameter wie bei Paulus angegeben. Weiter unklar ist, ob und wie regelmässig Klauenpflege bei den Stieren gemacht wird (Nüske und Scholz, 2004).

4.3 Vergleichende Anatomie verschiedener Wiederkäuer

Zur speziellen Anatomie der Zehenregion von Bisons, Elchen, Gämsen und Damhirschen liegen wenige Publikationen vor. Einige Angaben zur

vergleichenden Anatomie gibt es für Rind und Elch (Kendelbacher, 1935; Bartosiewicz, 1987). Die Systematik findet sich in Standardwerken (Walker, 1968; Thenius 1988).

Zur Festlegung grundlegender morphologischer Unterschiede von zwei Vertretern der Wiederkäuer aus unterschiedlichen Familien vergleicht Bartosiewicz das Längenwachstum einiger Knochen von 85 Rindern und 20 Europäischen Elchen (Bartosiewicz, 1987). Die Proportionen zwischen den langen Röhrenknochen von Hinter- und Vordergliedmassen reflektieren grosse Unterschiede bezogen auf die Bewegung und Domestikation. Die absolute Knochenlänge von Elchen ist durchschnittlich 1.5mal grösser als die von Rindern. Der Humerus ist beim Rind im Schnitt etwas länger (Bartosiewicz, 1987). Nach Kendelbacher besteht der Hauptunterschied der Vorderfüsse zwischen Elch und Rind im Vorkommen der „Griffelbeine“ beim Elch (Abb. 3), die er als *Ossa metacarpalia II und V* anspricht (Kendelbacher, 1935). Diese platt gedrückten Knochen haben keine knöcherne Verbindung zum Röhrlbein. Sie haben ihre mittleren Stücke verloren, so dass zwei proximale und zwei distale *ossa calamiformia* vorhanden sind (Brandt, 1888). Beim Rind ist gewöhnlich nur ein proximaler Rest des lateralen Griffelbeines erhalten. Am Hinterfuss sind beim Elch keine Griffelbeine mehr vorhanden, sondern nur je drei Phalangen der Afterzehen. Die „Läufe“ des Elches enden in zwei schmalen und spitzen Hauptklauen, den Schalen. Die kräftig entwickelten Afterklauen sollen das Einsinken auf moorigem Untergrund verhindern. Die Vorderläufe sind generell kräftiger ausgebaut als die Hinterläufe, was auf die grössere Gewichtsbelastung der Vorderextremität zurückgeführt wird (Kendelbacher, 1935). Die Zehen können im Vergleich mit dem Rind weit gespreizt werden. Die Schalen weisen einen äusserst harten und stark ausgebildeten Tragrand auf. Der Ballen reicht fast bis zur Zehenspitze; es ist nur ganz wenig eigentliches Sohlenhorn vorhanden. Die breiteste Stelle der Bodenfläche der Klauen der Vorderextremitäten zeigt sich an der medialen Klaue etwas schmaler als an der

lateralen. Die Schalen der Hinterfüsse sind schlanker und spitzer, die mediale Klaue ist etwas länger als die laterale. Die Bodenfläche der lateralen Klaue ist etwas breiter als die der medialen. Die mediale Klaue besitzt einen konvexeren Dorsalrand an Vorder- und Hinterlauf als die laterale Klaue (Kendelbacher, 1935). Die Afterklauen besitzen einen ausgeprägten Tragrand, der nach Kendelbacher (1935) auf dem Eis auch als Bremsvorrichtung dienen soll. Die lateralen Afterklauen zeigen sich etwas schlanker und länger als die medialen. Die Phalanx III der Afterzehen stellt einen platten Knochen dar, dessen distales Ende ziemlich schmal und fast spitz ist, während sein proximales Ende wesentlich verbreitert und stärker ist und zur Artikulation mit der Phalanx II dient. Phalanx II und besonders Phalanx I sind deutlich kräftiger als Phalanx III (Kendelbacher, 1935). Beim Rind hingegen enthalten die beiden rudimentären Afterzehen meist zwei Glieder, manchmal aber nur die Endphalangen. Phalanx II hat eine unregelmässige Gestalt. Die Endphalange steckt als dreiseitige Pyramide geformt im Afterklauenschuh. Die Knochen der Afterzehen sind mit den Hauptzehen nur durch Bandmassen verbunden, untereinander in der Regel aber gelenkig (Nickel et al., 2004).

Eine anatomisch wichtige Begebenheit zur Unterscheidung der Unterfamilien der echten Hirsche (Damhirsch) und der Trughirsche (Elch) ist der Grad der Reduktion der zweiten und fünften Zehen. Echte Hirsche sind Plesiometacarpalia, das heisst, es sind nur die proximalen Glieder der zweiten und fünften Zehen vorhanden. Die echten Hirsche werden auch Altwelthirsche genannt, da ihr Evolutionszentrum in Asien liegt. Trughirsche sind Telemetacarpalia, was bedeutet, dass nur die distalen Knochen der zweiten und fünften Zehen vorhanden sind. Da sich ihr Ursprungsgebiet in Nordamerika befindet, werden sie auch Neuwelthirsche genannt (Walker, 1968; Lee et al., 1997).

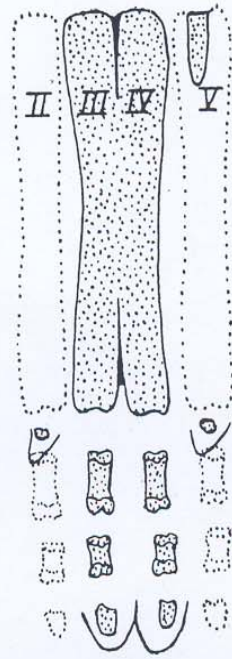


Abb. 9

Schema vom linken
Vorderfußskelett
des Rindes

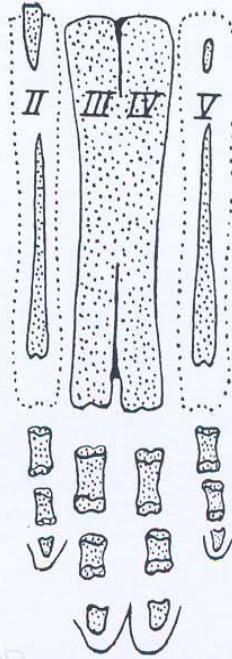


Abb. 10

Schema vom linken
Vorderfußskelett
des Elches

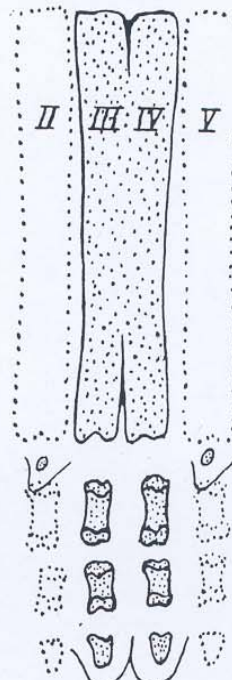


Abb. 11

Schema vom linken
Hinterfußskelett
des Rindes

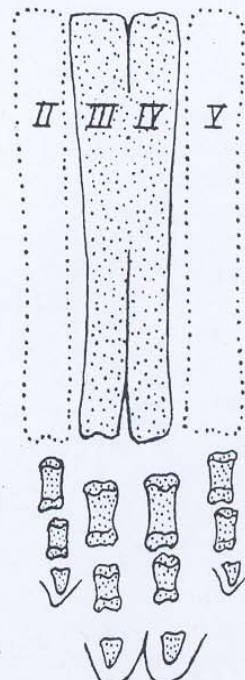


Abb. 12

Schema vom linken
Hinterfußskelett
des Elches

(In den 4 Schemata Sehnenbeine weggelassen).

Abb. 3: Vergleichende schematische Darstellung des linken Vorder- und Hinterfusses von Elch und Rind (Kendelbacher, 1935).

4.4 Biomechanische Aspekte der Zehen beim Rind

Bei Tieren, die nach dem Abkalben schwere Sohlenläsionen entwickeln, kann bereits ein Monat vor der Abkalbung eine Mehrbelastung der lateralen Klauen registriert werden (Ossent et al., 1987). Bei älteren Milchkühen lässt sich eine altersabhängige Verlagerung der Belastung der Klauen nach lateral beobachten. Die Gründe dafür bleiben unklar. Van der Tol et al. (2002) stellen fest, dass bei Kühen im Stand die medialen Klauen der Vordergliedmassen das Hauptgewicht tragen, bei den Hintergliedmassen jedoch die lateralen Klauen. Bei allen Klauen der Vorderextremitäten ist der Hauptdruck auf dem hinteren Teil der Sohle, bei den Klauen der Hinterextremitäten in ihrem vorderen Bereich lokalisiert. Somit lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Lokalisation der grössten Druckkonzentration und der klinisch beobachteten Klauenerkrankungen herstellen (Van der Tol et al., 2002). Vor der funktionellen Klauenpflege werden 80 % der totalen Bodenreaktionskraft (GRF) von der lateralen und 20 % von der medialen Klaue getragen. Nach der Klauenpflege beträgt das Verhältnis 70 zu 30 %. Entsprechende Messergebnisse erhalten Kehler und Gerwing (2004). Durch die Klauenpflege wird weiterhin eine Vergrösserung der gewichttragenden Bodenkontaktfläche von 27.5 auf 40 cm² erreicht, was eine Abnahme des durchschnittlichen Druckes mit sich bringt (Van der Tol et al., 2004). Vergleichbare Werte bezüglich der Bodenfläche ermittelt Paulus (2004). Im Schritt berührt bei Rindern die laterale Klaue - an den Hintergliedmassen immer, bei den Vordergliedmassen meistens - den Boden zuerst. Auch die Klauenpflege ändert an diesem Fussungsvorgang nichts Wesentliches (Meyer, 2004). Nach neueren Untersuchungen bestehen auch keine Unterschiede im Fussungsmuster zwischen Rindern und Kühen (Schmid, 2006). Dieses Fussungsmuster wirkt sich auf die Klauenbelastung aus. Bei gehenden Kühen fällt die vertikale Bodenreaktionskraft nahezu ausschliesslich auf die Aussenklauen der Beckengliedmassen, während sie an den Schultergliedmassen gleichmässig verteilt ist (Van der Tol et al., 2003).

4.5 Messungen

4.5.1 Methodik der radiologischen Messung

Für die Bestimmung der Zehenlänge fertigt Schwarzmann (2005) Aufnahmen im dorsopalmaren bzw. dorsoplantaren Strahlengang an. Bei gestreckter Zehenhaltung und lateraler Seitenmarkierung werden Klauen-, Kron-, Fesselbein und der distale Teil der Röhrbeine abgebildet. Die Belichtungswerte betragen 40-50 kV und 16-20 mAs, bei einem Film-Fokus-Abstand von 100 cm. Der Zentralstrahl liegt auf Höhe des Kronbeins zwischen den beiden Zehen. Essentiell für eine geeignete Aufnahme sind eine symmetrische Lage der proximalen Sesambeine, eine klare Trennung der Kondylen des Röhrbeins und die zentrale, überlagerungsfreie Lage seiner Gefäßlöcher (Schwarzmann, 2005). Ebeid (1992) erstellt dorsopalmare/-plantare sowie abaxioaxiale Röntgenaufnahmen der lateralen und medialen Zehen von Kühen. Für die dorsopalmare/-plantare Aufnahme wird ein Keil-Filter auf der Röntgenröhre befestigt und XL Filme (3M) mit einem Raster verwendet. Die Kassetten werden mit 60 kV und 50 mAs belichtet, der Film-Fokus-Abstand beträgt 120 cm. Für die abaxioaxiale Aufnahme der Klauenbeine werden CRT Filme (M3) mit 55 kV und 25 mAs bei demselben Film-Fokus-Abstand belichtet (Ebeid, 1992).

4.5.2 Besonderheiten der Röntgenanatomie

Die normale Klauengelenkspaltenweite bei Röntgenaufnahmen von Rindern beträgt 1-2 mm (Schwarzmann, 2005). Das distale Sesambein, welches weitgehend vom Kronbein überlagert wird, liegt am proximopalmaren bzw. proximoplantaren Teil des Klauengelenkes (Ebeid, 1992). Im Klauenbein verlaufen fünf bis sieben Gefäßkanäle mit einer Weite von 1-3.5 mm, die einem Zentralkanal entspringen (Ebeid und Steiner 1996). Andere Autoren (Nuss et al., 1990) sprechen von einer Markhöhle des Klauenbeins. Als normale röntgenologische Variation beschreibt Ebeid (1992) die Aufrauungen am

Processus extensorius, am Dorsalrand, Sohlenrand und Tuberculum flexorium des Klauenbeins. Besonders die Aufrauungen am Sohlenrand zeigen eine statistisch signifikante Korrelation zum Alter der Tiere. Bei Kälbern weist die laterale Zehe die signifikant längere Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse und das signifikant längere Fesselbein im Vergleich zur medialen auf (Schwarzmann, 2005). Ein Längenunterschied zwischen der lateralen und der medialen Zehe besteht bei 79.6 % der Aufnahmen schon im Fesselgelenk, bei 92.7 % im Krongelenk und bei 92.1 % im Klauengelenk. Die laterale Zehe ist, unabhängig ob an der Schulter- oder an der Beckengliedmasse, länger als die mediale. Den Hauptanteil der Höhendifferenz im Klauengelenk tragen an der Beckengliedmasse die Metatarsusepiphyse bei. An den Schultergliedmassen führt der grösste Anteil des Unterschiedes von der Fesselbeinlänge her. Der Längenunterschied stellt sich an den Hintergliedmassen, mit durchschnittlich 2.9 mm Höhenunterschied, wesentlich deutlicher als an den Vordergliedmassen, mit 1.6 mm Unterschied, dar. Das Klauenbein der medialen Zehe weist jedoch die grössere Dorsallänge, Sohlenlänge und Höhe auf. Diese grössere Länge des Klauenbeins kann jedoch die weiter proximal bestehenden Höhenunterschiede nicht ausgleichen (Schwarzmann, 2005).

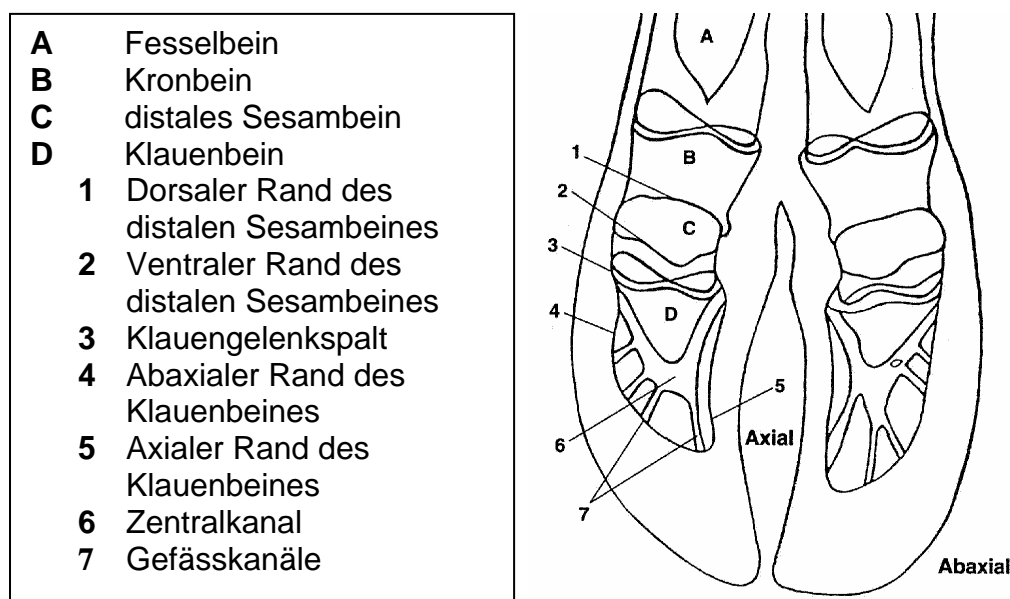


Abb. 4: Schematische Darstellung einer dorsopalmaren bzw. -plantaren Röntgenaufnahme der Zehen des Rindes (Ebeid und Steiner, 1996).

In Röntgenuntersuchungen an Hinter- und Vorderfüssen von drei einbuckligen Arabischen Kamelen (*Camelus dromedarius*) werden die Anzahl, die Form, die Grösse, die Lage der Knochen, sowie das Verhältnis zwischen Kortex und Durchmesser der Knochen betrachtet. Beim einhöckrigen Kamel besteht das Röhrbein aus den zusammengewachsenen Ossa metacarpalia III und IV, resp. aus den Ossa metatarsalia III und IV, ein Griffelbein gibt es nicht. Die lateralen Zehenknochen sind länger als die medialen. Der längste und grösste Zehenknochen ist das Fesselbein (Farhadian et al., 2006).

4.5.3 Messtechniken an Rinderzehen

Nacambo (2005) bestimmt die Länge des Knochens einschliesslich der Epiphyse mit einem Lineal, indem er die Schnittfläche der transversal zersägten Ossa metacarpalia und metatarsalia abmisst. Zudem werden die zersägten Knochen fotografiert und mit dem Softwareprogramm Metron PX™ (Epona Tech, Creston, USA) digital ausgewertet. Für die röntgenologische Untersuchung der Zehenlänge an lebenden Kälbern wählt Schwarzmann (2005) für die Schultergliedmassen eine dorsopalmare, für die Beckengliedmassen eine plantarodorsale Strahlenrichtung. Die Messungen an den Röntgenbildern erfolgen, nach der Digitalisierung der konventionellen Röntgenbilder mit einem HP-DeskScan III, mit Hilfe des Programms Metron PX™ der Firma Epona Tech, Creston, USA. Die auf jeder Röntgenaufnahme angebrachten Seitenmarkierungen bekannter Länge dienen als Referenzwert für die Längenmessungen. Als proximaler Ausgangspunkt für die Längenmessung der Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphysen wird eine Linie im Fugenbereich gezogen. Diese Linie geht vom abaxialen Endpunkt der Epiphyse aus und liegt senkrecht zu einer Linie, die mittig zwischen die Zehen gelegt ist (Abb. 5). Mit Hilfe der Fugenlinie wird eine Senkrechte zum distalen Endpunkt des Sagittalkammes gezogen und so die Länge der jeweiligen Epiphyse bestimmt. Die Längenbestimmung der Fesselbeine erfolgt, indem vom tiefsten Punkt der

Sagittalrinne der Fesselgelenksfläche bis zum tiefsten Punkt der Rinne an der distalen Gelenkfläche gemessen wird. Die Länge des Kronbeines stellt die direkte Verbindung zwischen dem höchsten Punkt des Sagittalkammes der proximalen Gelenkfläche und dem höchsten Punkt des distalen Sattels dar. Schwarzmann sieht von einer Messung der Klauenbeine ab, da deren apikale Anteile infolge der Überbelichtung nicht abgrenzbar sind (Schwarzmann, 2005).

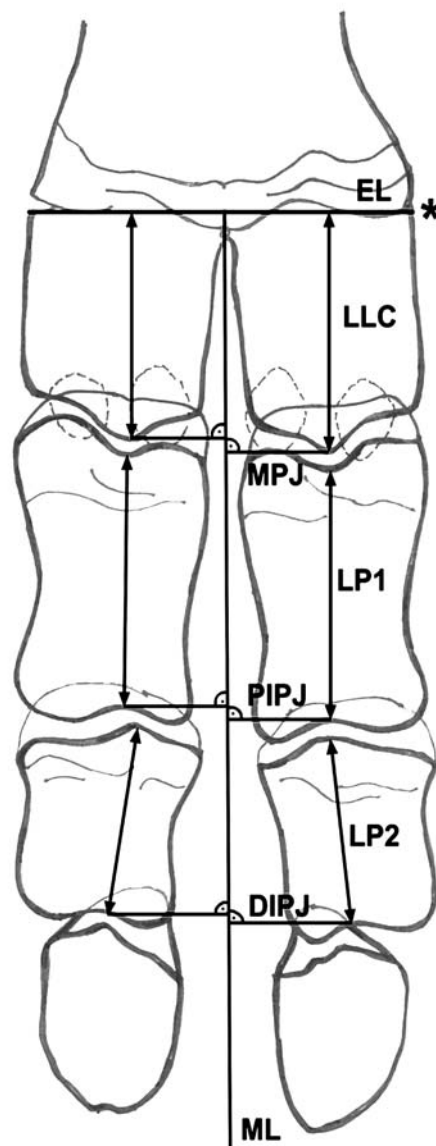


Abb. 5: Schema der Bestimmung der Länge von Röhrlbeinepiphysen und der Knochenlängen der Phalangen (Schwarzmann und Nuss 2006).

| | | | |
|-------------|----------------------------------|------------|--------------------------------|
| EL | Epiphysenlinie | LLC | Länge des lateralen Kondylus |
| LP1 | Länge des Fesselbeins | LP2 | Länge des Kronbeins |
| MPJ | Metakarpo-Phalangealgelenk | ML | Medianlinie |
| PIPJ | Proximales Interphalangealgelenk | DIP | Distales Interphalangealgelenk |

Anhand der dorsopalmaren/-plantaren sowie abaxio-axialen Aufnahmen von allen Füßen von 50 Braunviehkühen beurteilt Ebeid (1992) die Breite und die Länge des Klauenbeins, die Anzahl und Weite der Gefässkanäle und die Aufrauung des Sohlenrandes. Die Knochenbreite des Klauenbeines bestimmt er an der „breitesten Stelle“, die Länge als Strecke zwischen dem Klauengelenkrand und der Zehenspitze, den Querdurchmesser in der Mitte senkrecht durchlaufend (Ebeid, 1992). Die Breite der Klauenbeine (Abb. 6) der Vordergliedmassen weist mit 31.88 mm grössere Werte als die an den Hintergliedmassen mit 30.55 mm auf. Die Klauenbeine der Schultergliedmassen sind mit 47.6 mm kürzer als die der Beckengliedmassen. Wo genau die Referenzpunkte für die Längen- und Breitenmessungen liegen, gibt er nicht an.

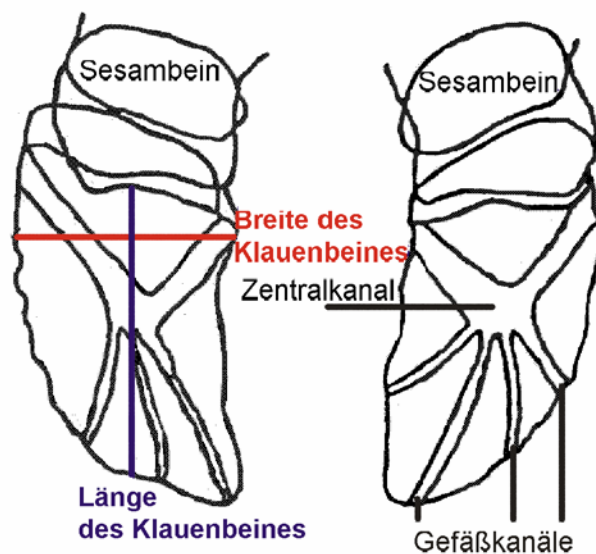


Abb. 6: Schematische Darstellung der röntgenologischen Breiten- und Längenmessung der Klauenbeine (Ebeid, 1992). Eingezeichnet sind die Messlinien für die Breite und Länge der Klauenbeine.

4.5.4 Messgenauigkeit des Messprogramms Metron PXTM

Für die Untersuchung der Messgenauigkeit des Programms Metron PXTM erstellt Vargas (2004) von den Hufen der linken Schultergliedmasse von zwei orthopädisch gesunden Pferden 88 Röntgenbilder im dorsopalmaren sowie lateromedialen Strahlengang. Zur Evaluation der Software wählt er 36

Parameter am Huf. Zunächst stellt er fest, dass die Messgenauigkeit bei verschiedenen Vergrößerungen unterschiedlich ist. Da bei einer Vergrößerung von 75 % ein höherer Variationskoeffizient (2.49) als bei einer Vergrößerung von 150 % (0.073) vorhanden ist, sollten Röntgenbilder im Programm Metron PXTM bei einer Vergrößerung von 150 % evaluiert werden. Signifikante Unterschiede bestehen, wenn die gleiche Person wiederholt misst (Test A), wenn verschiedene Personen messen (Test B), bei unterschiedlichen Röntgentechniken (Test C) oder wenn man die gemessenen Werte mit sagittalen Gefrierquerschnitten der Hufe (Test D) vergleicht. Der Variationskoeffizient liegt jedoch bei fast allen Messungen unter 0.05. Die grössten Unterschiede ergeben sich beim Vergleich der Röntgenbilder mit dem anatomischen Präparat, sind jedoch für klinische Studien nach Ansicht des Autors nicht relevant (Vargas, 2004).

Nach Schwarzmann (2005) kommt es durch verschiedene Aufnahmetechniken zur Vergrößerung der tatsächlichen Länge von Markierungen durch die Abbildung auf dem Röntgenbild. Durch die örtliche Verschiebung des Zentralstrahles ergeben sich geringere Standardabweichungen als durch die Änderung des Strahlenwinkels (Schwarzmann, 2005). In ihrer Untersuchung wird eine am Fesselbein angebrachte Markierung von 50 mm Länge im Röntgenbild auf 53.6 mm (sd = 0.67) vergrössert, was einer Wertabweichung von 7.2 % entspricht. Die Länge einer entsprechenden Markierung im Bereich des Kronbeines erhöht sich im Röntgenbild von 30 mm auf 32.2 mm (sd = 0.62), also eine Verzerrung von 7.34 %. Die 40 mm lange Markierung im Bereich des Klauenbeines stellt sich auf dem Röntgenbild mit einer durchschnittlichen Länge von 41.2 mm (sd = 1.73) dar, was nur einer 3 %-igen Abweichung entspricht.

5. Eigene Untersuchungen

5.1 Material und Methodik

5.1.1 Tierarten

Die für die Messungen ausgewählten Tierarten sind Gämse, Bison, Damhirsch und Elch, also je zwei Vertreter der Familie der Hornträger sowie der Hirschfamilie. Die distal von Karpus bzw. Tarsus abgetrennten Zehen werden gesammelt und bis zur Untersuchung tiefgefroren. Es sind bei allen Tieren immer sämtliche Gliedmassen vorhanden, so dass insgesamt 176 Füße geröntgt und ausgemessen werden können.

5.1.1.1 Gämsen

Das verwendete Zehenmaterial der Gämsen stammt von 11 Tieren, geschossen in der Jagdsaison 2005 in den hochgebirgigen Gebieten Engelberg und Lungern, beide im Kanton Obwalden. Es handelt sich um 4 Gämssiegen und 7 Böcke im Alter von 2 bis 19 Jahren, in der Gewichtsklasse von 15 bis 35 kg.

Tab. 1: Alter, Geschlecht, Herkunft und Gewicht (soweit bekannt) der Gämsen

| Nr. | Alter (Jahre) | Geschlecht | Herkunft | Gewicht |
|-----|---------------|------------|-----------|---------|
| 1 | 4 | m | Engelberg | |
| 2 | 4 | m | Lungern | 31 kg |
| 3 | 2 | w | Lungern | 14 kg |
| 4 | 2 | m | Engelberg | |
| 5 | 2 | m | Engelberg | |
| 6 | 5 | w | Engelberg | |
| 7 | 7 | m | Lungern | 29 kg |
| 8 | 3 | m | Lungern | 24 kg |
| 9 | 2.5 | m | Engelberg | |
| 10 | 19 | w | Engelberg | |
| 11 | 13 | w | Engelberg | |

5.1.1.2 Bisons

Die Meta- und Akropodien stammen von 11 Bisons: Ein einjähriger Jungbulle und eine 9-jährige Kuh (Bison 1 und 2) kommen aus einer Hobbyhaltung auf 600 Meter über Meer, in der die Tiere ständigen Weidegang haben. Zwei Tiere, eine Mutterkuh und ein Bulle, stammen von einer Ranch, auf der die Tiere in 1200 Meter über Meer auf kargen, steinigen Weiden gehalten werden (Bison 7 und 8).

Tab. 2: Alter, Geschlecht, Herkunft und Gewicht (soweit bekannt) der Bisons

| Nr. | Alter (Jahre) | Geschlecht | Herkunft | Gewicht |
|-----|---------------|------------|-----------------------|---------|
| 1 | 1 | m | Hobby-Weidehaltung | |
| 2 | 9 | w | Hobby-Weidehaltung | |
| 3 | 3 | m | Tierpark München | |
| 4 | 3 | m | Tierpark München | |
| 5 | 3 | m | Tierpark München | |
| 6 | 3 | m | Tierpark München | |
| 7 | 4 | m | Bisonranch, Chasseral | |
| 8 | 6 | w | Bisonranch, Chasseral | |
| 9 | 18 | w | Zoo Zürich | 500 kg |
| 10 | 0.5 | w | Tierpark München | 135 kg |
| 11 | 1.5 | w | Tierpark München | 200 kg |

Aus dem Zoo Zürich werden weitere Füße geliefert, als eine 500 kg schwere Bisonkuh im Alter von 18 Jahren wegen zunehmender Altersbeschwerden eingeschläfert wird. Die restlichen sechs Tiere, von denen die Gliedmassenpräparate bezogen werden können, sind 3-jährige Jungbullen aus einem Tierpark mit grossen, naturnahen Gehegen.

5.1.1.3 Damhirsche

Untersucht werden die Zehen von elf männlichen, allesamt etwa einjährigen Tieren. Die Damhirsche leben im Wildpark Langenberg in der Nähe von Zürich in einer grosszügigen, naturnahen Anlage, bevor sie anfangs Dezember 2005 zur Regulation der Bestandesgrösse geschossen werden.

5.1.1.4 Elche

Die Läufe der Elche stammen überwiegend (9 Tiere) von wild lebenden Tieren aus Finnland, die auf der Jagd erlegt oder Opfer von natürlichen Feinden geworden sind. Zwei Tiere lebten in einem Wildtierpark (Langenberg) in der Schweiz mit grossen Gehegen.

Tab. 3: Alter, Geschlecht, Herkunft und Gewicht (soweit bekannt) der Elche

| Nr. | Alter (Jahre) | Geschlecht | Herkunft | Gewicht |
|-----|---------------|------------|----------|---------|
| 1 | 2 | m | Finnland | |
| 2 | 1 | w | Finnland | |
| 3 | 1.5 | m | Finnland | 297 kg |
| 4 | 1 | m | Finnland | |
| 5 | 6 | w | Finnland | |
| 6 | 3 | m | Schweiz | 270 kg |
| 7 | 0.5 | w | Schweiz | 120 kg |
| 8 | 1 | w | Finnland | 175 kg |
| 9 | 4 | w | Finnland | 320 kg |
| 10 | 4 | w | Finnland | 322 kg |
| 11 | 5 | m | Finnland | 396 kg |

Das Alter der Elche liegt zwischen einem halben Jahr und 6 Jahren, die bekannten Gewichte verteilen sich von 120 kg bis 396 kg.

5.2 Adspektorische Untersuchung der Präparate

Die Gliedmassenpräparate werden bei minus 20° gelagert und vor dem Untersuchungsbeginn über Nacht aufgetaut. Für die Röntgenuntersuchung werden sie mit einer Bürste trocken grob gereinigt oder bei sehr starker Verschmutzung mit einem Hochdruckreiniger gewaschen, damit keine Verschmutzungsartefakte auftreten. Für die Untersuchungen am Klauenschuh werden die Klauen in ihrem ursprünglichen Zustand belassen, also nicht beschnitten. Nach Abschluss der eigenen Untersuchungen werden die Gliedmassen für weitergehende Studien, z.B. zur Bestimmung von zusätzlichen Klauenparametern wie Dorsalwandwinkel, diagonale Klauenlänge, Ballenlänge, -höhe und -breite, Ballenpolster, Sohlenlänge, -dicke, Sohlenfläche und –umfang, an das Institut für Anatomie der Vetsuisse-Fakultät übergeben.

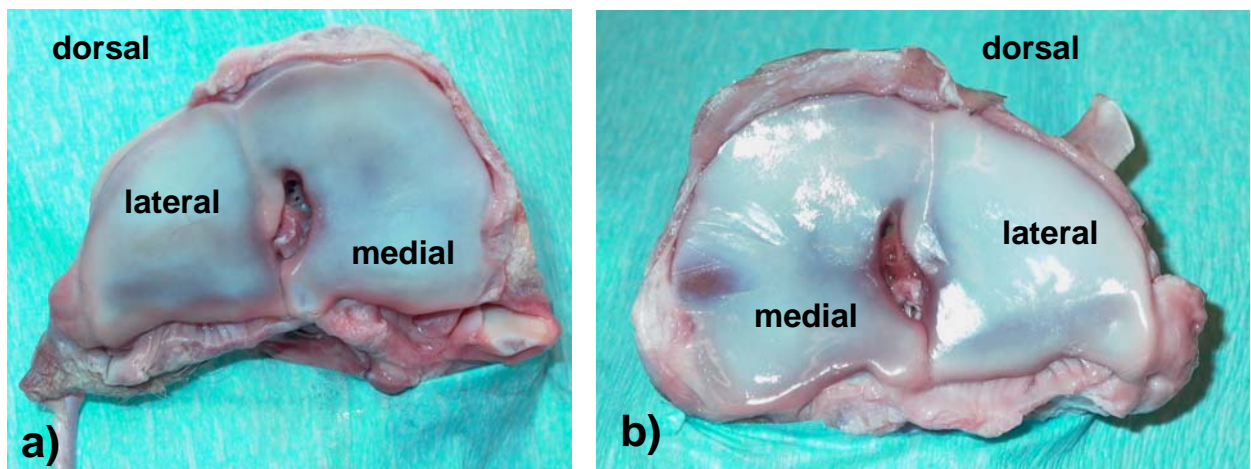


Abb. 7: Elch Nr. 8, weiblich, 1-jährig. Aufsicht auf die proximalen Gelenkflächen der a) linken und b) rechten Ossa metacarpalia. Der Anteil des III. Strahls ist etwas grösser als der des IV. Strahls. Die Gelenkfläche des IV. Strahls ist kleiner und mehr dreieckig.

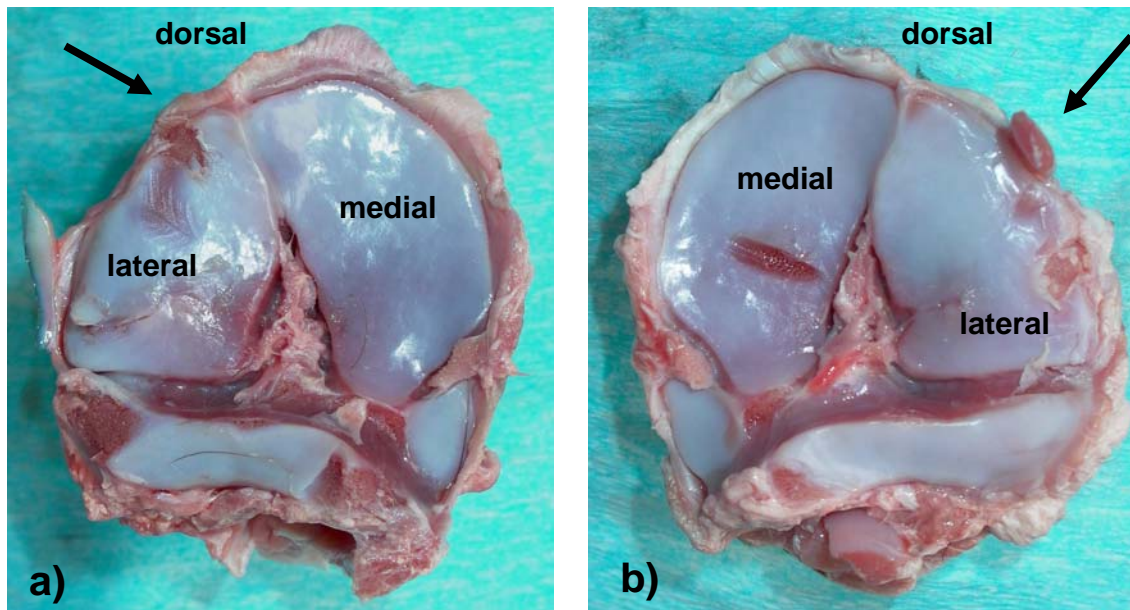


Abb. 8: Aufsicht auf die proximalen Gelenkflächen der a) linken und b) rechten Ossa metatarsalia des Elches Nr. 8. Die lateralen Gelenkflächen besitzen eine kleinere Grösse. Die Gelenkflächen weisen Präparationsartefakte auf. Pfeil: Sehne des M. extensor digitorum lateralis.

Anhand der anatomischen Merkmale der proximalen Gelenkflächen der Röhrbeine kann die Seitenzugehörigkeit bestimmt werden. Die Unterscheidungsmerkmale werden anhand der Abb. 7 und 8 erläutert. Diese anatomischen Unterscheidungsmerkmale, welche auch bei den Hausrindern gefunden werden können, sind bei allen der untersuchten Tierarten entsprechend anwendbar.

5.3 Messungen an den Klauen

An den Klauen der Wildwiederkäuer werden die Dorsalwandlänge, die Ballen- und die Sohlenbreite mit einer Präzisions-Schiebelehre (Profi Star, INOX) nach der Messmethode von Paulus (2004) vermessen. Die Dorsalwandlänge stellt den Abstand der dorsalen Haut-Hornverbindung zur Spitze der Klauen dar. Der proximale Messpunkt befindet sich bei Bisons und Elchen etwa 1 cm, bei

Damhirschen und Gämsen etwa 0.5 cm vom Zwischenklauenspalt entfernt. Die Ballenbreite entspricht der Strecke zwischen axialem und abaxialem Übergang des Ballenhorns in die Haut (Paulus und Nuss 2006). Die Sohlenbreite wird vom apikalen Punkt der Hohlkehlung, am Ende des axialen Wandhornes nach der Methodik von Nacambo (2006), senkrecht zur Längsachse der Klauen nach Habacher (1948) nach abaxial gemessen.

5.4 Röntgenologische Untersuchung

Die Röntgenaufnahmen werden mit Hilfe des fahrbaren Röntgengerätes Gierth HF 200 angefertigt. Die Vorder- und Hinterfüsse eines Tieres werden mit der dorsalen Seite auf der am Boden liegenden digitalen Kassette gelagert (Abb. 9). Als Schutz vor Rückstrahlung liegt ein Bleimantel unter der Kassette. Zur symmetrischen Abbildung werden die Füsse durch Unterlegen einer knetbaren Masse in Position gehalten. Die Kassettengrösse beträgt für die Elch- und Bisonfüsse 30x40 cm, für die der Damhirsche und Gämsen 24x30 cm. Je zwei Präparate werden gleichzeitig abgebildet. Die Kennzeichnung erfolgt mit Hilfe von Seitenzeichen, die Skalierung mit einem Bleimassstab. Dieser wird mit Klötzchen auf Knochenhöhe gebracht, damit eine Verzerrung gering gehalten werden kann. Die Strahlenrichtung verläuft senkrecht zur Gliedmassenachse und der Zentralstrahl wird in den Interdigitalspalt auf Höhe der Krongelenke gerichtet. Der Film-Fokusabstand beträgt stets 1.15 m. Die Belichtungswerte für die Elch- und Bisonfüsse betragen 70 kV und 25 mA und 0.2 s. Für die Damhirsche und Gämsen werden Expositionswerte von 56 kV, 30 mA und 0.2 s gewählt. Als Kriterien einer gelungenen Aufnahme gelten die symmetrische Lage der proximalen Sesambeine, eine klare Trennung der Kondylen der Ossa metacarpalia bzw. metatarsalia sowie eine klare Darstellung der Klauenbeine. Falls diese Bedingungen nicht erfüllt sind, werden die Aufnahmen wiederholt. Die angefertigten Röntgenbilder werden digital gespeichert.

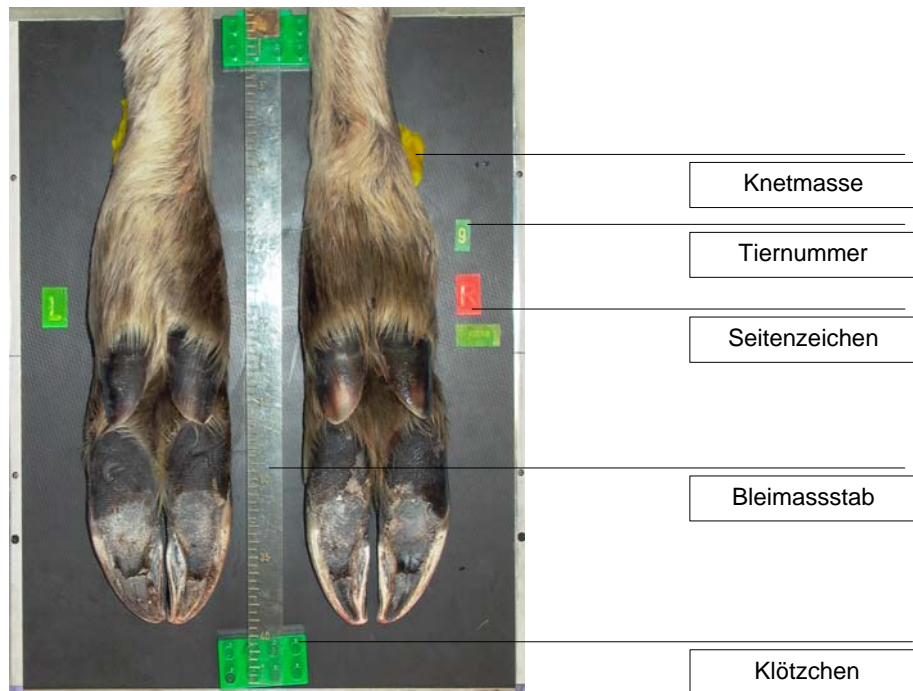


Abb. 9: Lagerung der Präparate für die Röntgenaufnahmen am Beispiel der Vordergliedmassen des Elches Nr. 9.

5.5 Messungen an den Röntgenbildern

Die Knochen werden anhand der digitalisierten Röntgenbilder mit dem Programm Metron PX™ Version Nr. 3.03 der Firma Epona Tech, Creston, USA, vermessen. Dies geschieht bei einer Bildgrösse von 200 %, damit die Messpunkte möglichst präzise gesetzt werden können. Da es sich bei Metron PX™ um ein amerikanisches Produkt handelt, das keine europäischen Längeneinheiten anbietet, wird „1 Inch“ als 1 cm definiert.

Als weitere Kontrolle, dass sich kein Fehler in die Beschriftung der Gliedmassen eingeschlichen hat, wird im Röntgenbild die Lage der sagittalen Scheidewand in den Ossa metacarpalia bzw. -tarsalia beurteilt. Da der Anteil des III. Strahls, also der mediale Teil, etwas stärker ausgebildet ist als der laterale, kann dies als Hilfsmittel zur Unterscheidung zwischen lateral und medial herangezogen werden.

Damit die Länge der Röhrbeinkondylen bestimmt werden kann, wird eine Grundlinie am distalen Ende der Wachstumsfuge, senkrecht zum Schaft des

Röhrbeines, gelegt (Abb. 10). Diese Grundlinie kann auch bei älteren Tieren, bei denen keine Wachstumsfuge mehr anzusprechen ist, eingezeichnet werden. Bei den ausgewachsenen Tieren wird die Grundlinie unmittelbar proximal der Sesambeine senkrecht zur Längsachse des Röhrbeins gezogen, ausgehend von medial an der breitesten Stelle der ehemaligen Epiphysenfuge. Zur Bestimmung dieser Längsachse wird an mindestens 3 Stellen die halbe Breite des Röhrbeines bestimmt. Durch die Verbindung dieser drei entstehenden Punkte wird die Gliedmassenlängsachse eingezeichnet. Die Breitenmessung an den Kondylen erfolgt im rechten Winkel zu dieser Längsachse, ausgehend von dem am weitesten abaxial gelegenen Punkt der Gelenkfläche (Abb. 10).

Die gewählte Länge des Fesselbeines erstreckt sich als Verbindungslinie zwischen dem tiefsten Punkt der Sagittalrinne der Fesselgelenkfläche und dem tiefsten Punkt der Rinne an der distalen Gelenkfläche. Für die Breitenmessung wird im 90°-Winkel zu dieser Längengeraden eine Linie, ausgehend vom am weitesten axial gelegenen Punkt der proximalen Gelenkfläche, gewählt.

Die Länge des Kronbeines zieht als direkte Verbindung des am weitesten proximal gelegenen Punkt des proximalen Sagittalkamms zu dem am weitesten proximal gelegenen Punkt des distalen Sattelgelenks (Abb. 10). Auf einer Senkrechten zu dieser Linie erfolgt die Breitenmessung, ausgehend von dem am weitesten axial gelegenen Punkt der proximalen Gelenkfläche.

Die Klauenbeinlänge wird als gerade Verbindung zwischen dem am weitesten proximal gelegenen Punkt des Processus extensorius und der Klauenbeinspitze ermittelt. Senkrecht dazu wird die Breite, von dem am weitesten axial gelegenen Punkt der proximalen Gelenkfläche ausgehend, bestimmt (Abb. 10).

Zur Bestimmung der Mittelachse der Zehen wird die oben beschriebene Längsachse des Röhrbeines bis über die Klauenbeinspitzen hinaus verlängert (Abb. 11). Damit soll festgestellt werden, ob diese Linie sich mehr der lateralen oder der medialen Zehe zuneigt.

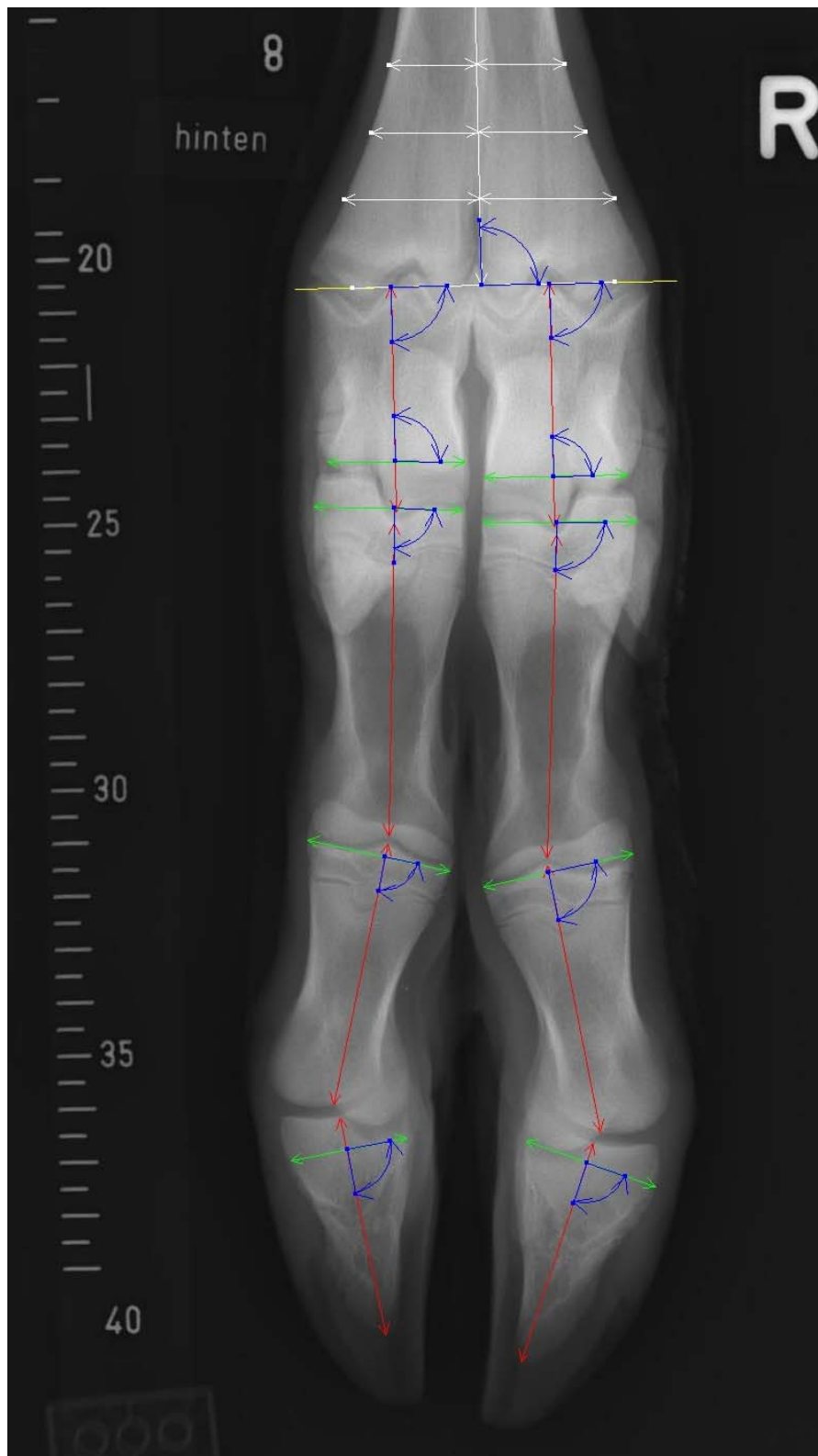


Abb. 10: Finnischer Elch, freilebend, weiblich, einjährig erlegt. Röntgenaufnahme der rechten Beckengliedmasse im plantarodorsalen Strahlengang. Bildbearbeitung mit Metron PXTM. Rote Linien: Knochenlängen; grüne Linien: Knochenbreiten; blau: 90° Winkel; gelbe Linie: Grundlinie durch die Wachstumsfuge des Röhrbeins; weiße Linien: Mittellinie des Röhrbeins für Definierung der Grundlinie.

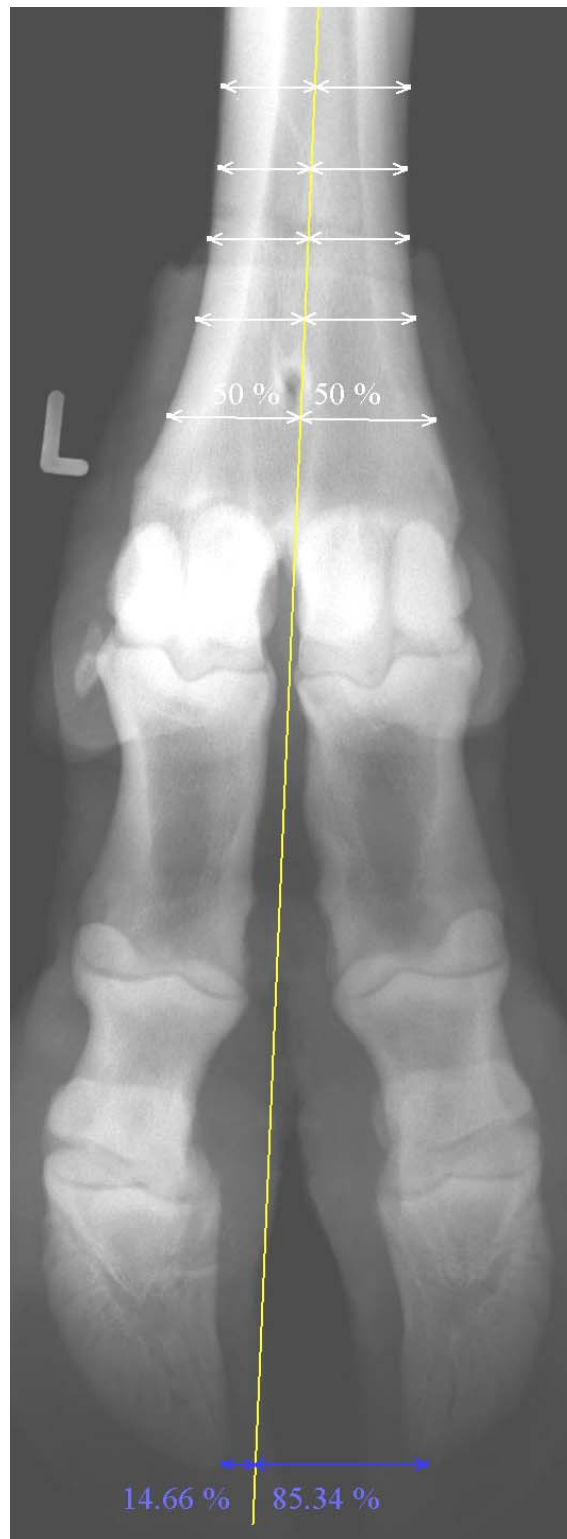


Abb. 11: Bison Nr. 11, weiblich, 1.5 Jahre alt, 200 kg. Linke Hintergliedmasse im plantarodorsalen Strahlengang. Weisse Linien: Hilfslinien zur Bestimmung der Mittellinie des Röhrbeines, gelbe Linie: verlängerte Röhrbeinmittellinie, blaue Linie: Verbindungslinie der lateralen und medialen Klauenbeinspitzen mit prozentualer Angabe des Anteils seitlich der Mittellinie. Die Verlängerung der Mittellinie des Röhrbeins neigt sich der lateralen Klaue zu.

5.6 Anatomische Besonderheiten anhand der Röntgenbilder

Die Röntgenbilder der untersuchten Tierarten zeichnen sich durch einige Besonderheiten aus, anhand deren sie sich unterscheiden lassen. Diese betreffen neben der Knochenlänge und –breite insbesondere die Ausbildung der zweiten und fünften Zehen sowie die Stellung der Klauenbeine im Röntgenbild.

5.6.1 Gämsen

Die Zehenknochen bei Gämsen stellen sich regelmässig distal des Krongelenks divergierend und im Klauengelenk in abgewinkelter Haltung dar (Abb. 12). Die genannte Abbildung zeigt die Füße eines zweijährigen Tieres. Die Epiphysenfugen der Phalangen sind geschlossen, die der Röhrbeine jedoch noch gut erkennbar. Die Afterklauen der Schulter- und Beckengliedmassen besitzen nur rudimentäre Knochen, die meist wegen der Überlagerung mit den Sesambeinen und Metakarpuskondylen kaum anzusprechen sind.



Abb. 12: Gämse Nr. 4: Männlich, 2-jährig, wildlebend im hochgebirgigen Gebiet um Engelberg. Zehen der a) Vorder- und b) Hintergliedmasse.

In den Aufnahmen ist kein Unterschied zwischen der Abwinkelung der lateralen und medialen Zehe zu erkennen. Altersveränderungen sind bei den zwei Gämsen über 7 Jahren nicht zu beobachten.

5.6.2 Bisons

Die Röntgenaufnahmen der abgetrennten Füße von Bisons weisen die meisten Ähnlichkeiten mit den Aufnahmen von Rinderzehen auf. Die Knochen sind gedrungen und breit. Die Aussenzehen scheinen länger zu sein, und die lateralen Klauenbeine sind anscheinend breiter als die Knochen der medialen Seite (Abb. 13).



Abb. 13: Bison Nr. 7, männlich, 4-jährig, ganzjährige Weidehaltung in steinigem, kargem Gebiet auf 1200 Meter über Meer. Zehen der a) Vorder- und b) Hintergliedmassen im palmaro-/plantarodorsalen Strahlengang. Os sesamoideum distale erscheint trotz Überlagerung des Kronbeines gut sichtbar. Gefässkanäle und Zentralkanal im Klauenbein gut erkennbar. Die lateralen Klauenbeine sind an Schulter- und Beckengliedmasse kräftiger.

Die Bisons stellen neben den Gämsen auch diejenigen Tiere, die am ältesten geworden sind. Bei einer im Zoo gehaltenen 18-jährigen Bisonkuh finden sich starke knöcherne Veränderungen (Abb. 14). Diese Zubildungen sind im Bereich der Sehnen- und Bandansätze deutlich sichtbar. Die Veränderungen bei diesem Tier (Abb. 14) sind an den Schultergliedmassen stärker ausgeprägt als an den Beckengliedmassen. Ebenso augenfällig betreffen sie die lateralen Zehen mehr als die medialen.



Abb. 14: Bison Nr. 9, weiblich, 18-jährig, 500 kg, aus dem Zoo Zürich. Zehen der a) Schulter- und b) Beckengliedmassen im palmaro-/plantarodorsalen Strahlengang. Knöcherne Zubildungen sind besonders stark an den lateralen Zehenknochen vorhanden. Die lateralen Zehen scheinen länger als die medialen.

5.6.3 Damhirsche

Für die Röntgenaufnahmen der Füße der Damhirsche sind die gestreckte Haltung der Zehenknochen und insbesondere der Klauenbeine kennzeichnend. Da es sich durchweg um Tiere im Alter von etwa einem Jahr handelt, sind die Röntgenaufnahmen und die Grössenverhältnisse sehr ähnlich. Bei dem gezeigten Tier (Abb. 15) sind die Epiphysenfugen der Fesselbeine und die der

Kronbeine noch nicht geschlossen. Bei einem Rind würde dieses Bild im Alter von etwa 7 Monaten zu sehen sein. Dies weist darauf hin, dass der Fugenschluss bei Wiederkäuern sehr unterschiedlich sein kann und keinen Analogschluss auf das Alter zulässt.

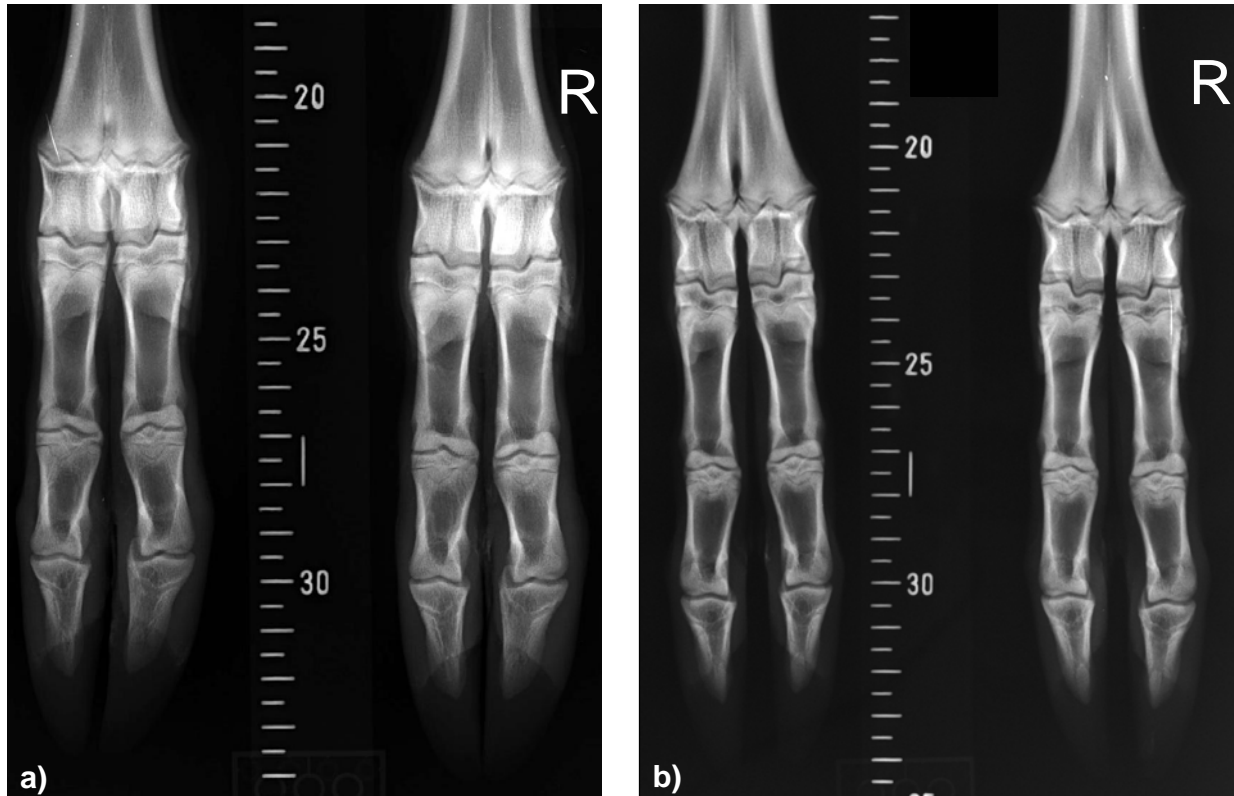


Abb. 15: Damhirsch Nr. 6, männlich, 1-jährig, aus einem Wildpark mit naturnaher Haltung. Zehen der a) Schulter- b) Beckengliedmasse im palmaro-/plantarodorsalen Strahlengang. Zehen sind im Gegensatz zu den Gämsen inklusive Klauenbeine parallel und gestreckt. Gefässkanal erscheinen an den Röhrbeinen der Beckengliedmassen grösser und weiter als an denen der Schultergliedmassen. Gesamtlänge der lateralen Zehen ist grösser als die der medialen. Axiale Sesambeine sind grösser als abaxiale.

Auch bei den Damhirschen erscheinen die lateralen Zehen länger als die medialen. Die Klauenbeine der lateralen Klauen sehen breiter aus als die der medialen.

5.6.4 Elche

Die Metapodien und Akropodien der Elche sind lang und schlank. Die Klauenbeine sind langgestreckt und ebenfalls schlank. Gut sichtbar sind die gelenkigen Verbindungen der an Vorder- und Hintergliedmasse unterschiedlich ausgebildeten Ossa metacarpalia bzw. metatarsalia II und V.

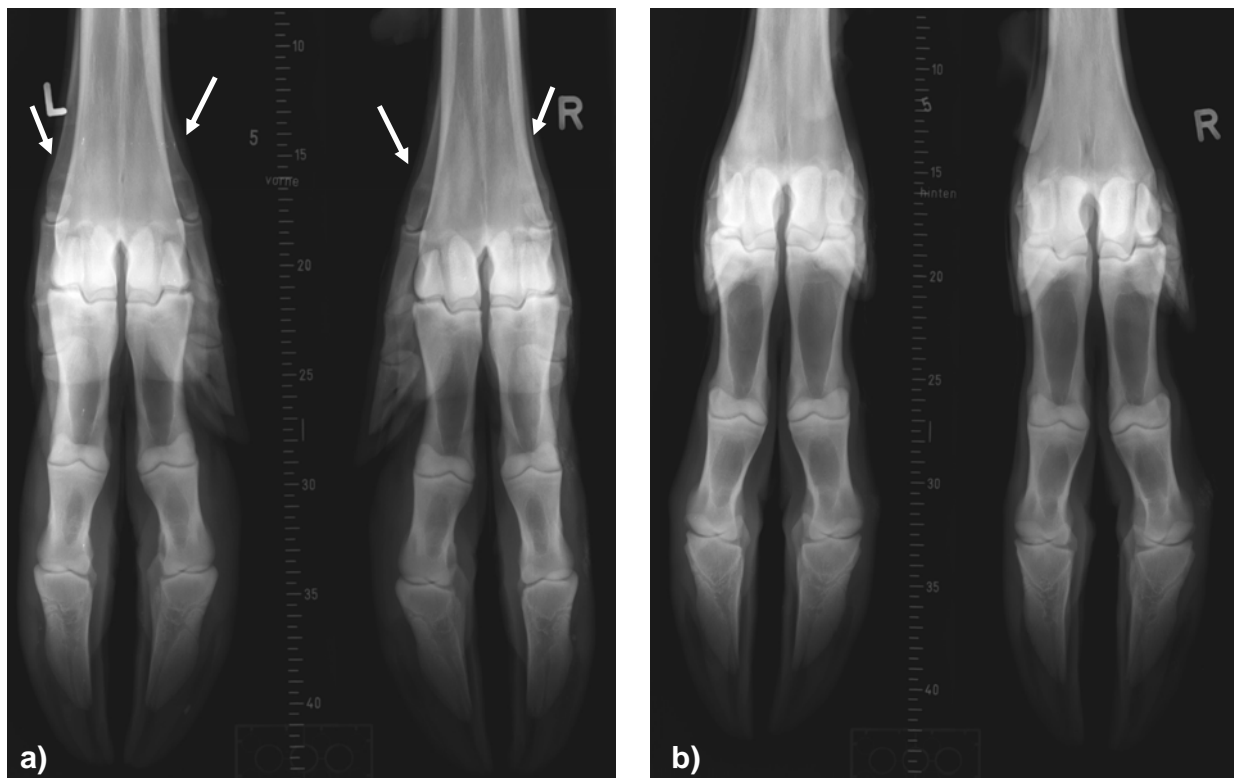


Abb. 16: Elch Nr. 5: Weiblich, 6-jährig, freilebend, Herkunft: Finnland. Zehen der a) Vorder- und b) Hintergliedmassen im palmaro-/plantarodorsalen Strahlengang. Ossa metacarpalia II und V (Pfeile) liegen ohne knöcherne Verbindung dem Röhrein an der palmaren Fläche an. Die drei Knochen der Afterzehen sind an den Beckengliedmassen deutlich kleiner als an den Schultergliedmassen. Die axialen Sesambeine sind deutlich grösser als die abaxialen.

5.7 Statistische Methoden

Für die statistischen Auswertungen wird das Statistikprogramm SPSS, Version 11.5, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA, verwendet. Neben den deskriptiven Statistiken werden vor allem die Mittelwerte zum Vergleich zwischen lateral und medial herangezogen. Mit dem gepaarten T-Test wird überprüft, ob die Parameter im Vergleich innerhalb der Gruppen unterschiedlich signifikant sind. Die Signifikanzgrenze wird bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.05$ festgelegt.

6. Ergebnisse

6.1 Beurteilung der Klauen und Messungen am Klauenschuh

Die Klauen der Wildwiederkäuer zeigen sich in einem guten Gesundheitszustand. Veränderungen im Sinne von Klauenerkrankungen, wie Klauenrehe, ein Sohlengeschwür, eine eitrig-hohle Wand oder eine Dermatitis digitalis können nicht festgestellt werden.

6.1.1 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Gämsen

Die Gämsen besitzen harte, manchmal etwas spröde Klauen. Diese zeigen teilweise deutlich überwachsene Tragränder, manchmal nur im Ballenbereich, bei anderen Tieren über die ganze Klauenlänge. Bei drei Tieren ist das Horn an einer Klauenspitze abgebrochen, ohne jedoch die Lederhaut zu exponieren. Nur eine Klaue zeigt eine kleine Hornkluft, die aber nicht perforierend ist (Abb. 18, Pfeil). Die Dorsalwand der lateralen Klauen erscheint oft etwas konvexer als die der medialen Seite. Bei der Mehrzahl der Beckengliedmassen liegt der Kronsaum der Aussenklauen weiter distal als der der Innenklauen (Abb. 18 a).

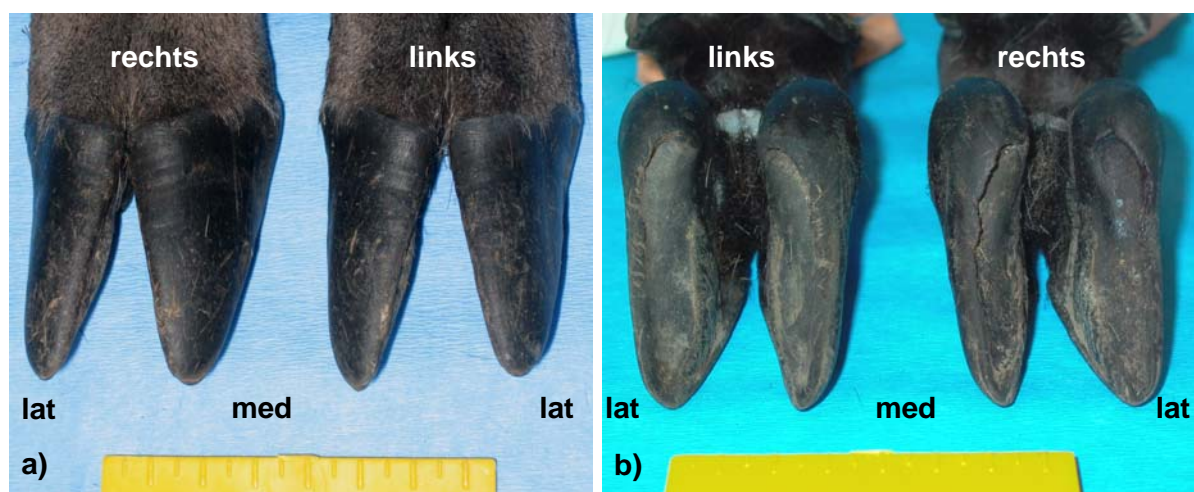


Abb. 17: Gämse Nr. 2, männlich, 4-jährig, 31 kg, freilebend in den Obwaldner Hochalpen. a) Dorsale und b) palmare Ansicht der Klauen der **Vordergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm.

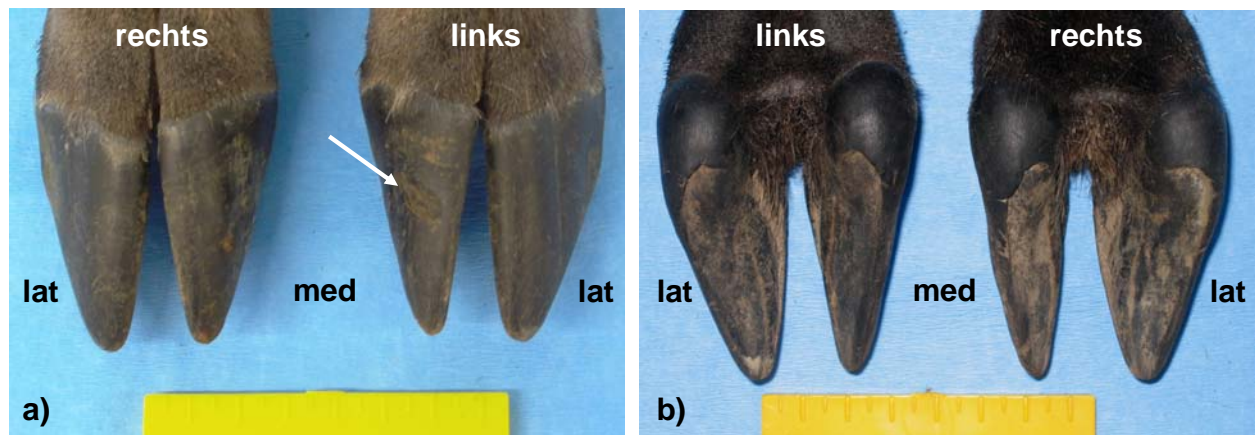


Abb. 18: Gämse Nr. 2, männlich, 4-jährig, 31 kg, freilebend in den Obwaldner Hochalpen. a) Dorsale und b) plantare Ansicht der Klauen der **Hintergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. a) Pfeil: Hornkluft. Deutlicher Höhenunterschied zwischen dem Kronsaum der Aussen- und Innenklaue sichtbar, entsprechend ragt die laterale Klauenspitze nach distal vor. b) Sohlenflächen der lateralen Klauen erscheinen grösser als die der medialen.

An den Schultergliedmassen sind die Dorsalwände der medialen Klauen um durchschnittlich 1.05 mm länger als die der lateralen Klauen (Tab. 4), mit einer Signifikanz von $p < 0.05$. Die Dorsalwände der medialen Klauen an der Beckengliedmasse sind um 0.28 mm länger als die der lateralen Klauen, jedoch ergibt sich hierfür keine statistische Signifikanz. Die Dorsalwandlängen der Klauen der Vordergliedmasse sind um durchschnittlich 1.94 mm länger als die der Hintergliedmassen ($p < 0.01$). Die Ballen der lateralen Klauen zeigen sich an den Schultergliedmassen signifikant breiter ($p < 0.05$) als die der medialen Klauen. Der Unterschied beläuft sich durchschnittlich auf 0.96 mm. Bei den Ballenbreiten der lateralen und medialen Klauen der Beckengliedmasse ist kein Unterschied feststellbar.

Tab. 4: Längen und Breitenmasse am Klauenschuh von Gämsen. Mittelwerte in mm (N: Anzahl der Zehen)

| | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Dorsalwandlänge | lateral | 11 | 43.64 | 4.41 | 43.91 | 3.99 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 44.64 | 4.76 | 45.00 | 4.10 |
| Dorsalwandlänge | lateral | 11 | 42.27 | 3.64 | 42.18 | 3.57 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 42.27 | 3.64 | 42.73 | 3.69 |
| Ballenbreite | lateral | 11 | 18.82 | 1.94 | 18.55 | 1.29 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 18.00 | 1.55 | 17.45 | 1.44 |
| Ballenbreite | lateral | 11 | 16.73 | 1.49 | 16.64 | 1.26 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 16.82 | 1.60 | 16.82 | 1.40 |
| Sohlenbreite | lateral | 11 | 14.27 | 1.27 | 14.27 | 1.42 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 14.18 | 1.40 | 14.45 | 1.44 |
| Sohlenbreite | lateral | 11 | 13.18 | 1.33 | 13.36 | 1.21 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 13.09 | 1.22 | 13.36 | 1.50 |

Die Resultate der Messungen der Sohlenbreite der Klauen an Schulter- und Beckengliedmassen der Gämsen zeigen keine Regelmässigkeiten bezüglich Breitendominanz einer Klaue auf. Die Sohlenfläche der Klauen der Schultergliedmassen sind jedoch durchschnittlich 1.05 mm breiter ($p < 0.01$) als die der Beckengliedmassen.

6.1.2 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Bisons

Die Bisonklauen weisen meist eine physiologische Klauenform mit einer deutlichen Hohlkehlung auf. Die meisten Klauen sind durch kleine Querrillen in den Dorsalwänden gezeichnet und die Dorsalwände zeigen generell keine Konkavität, mit Ausnahme der Klauen der Beckengliedmassen der 18-jährigen Bisonkuh (Abb. 20). Vor allem bei älteren Tieren werden die Spitzen der lateralen Klauen durch die Reibung an den überlangen medialen Klauen etwas abgerieben. Einmal liegt ein Hornspalt an der Innenklaue einer Schultergliedmasse vor.

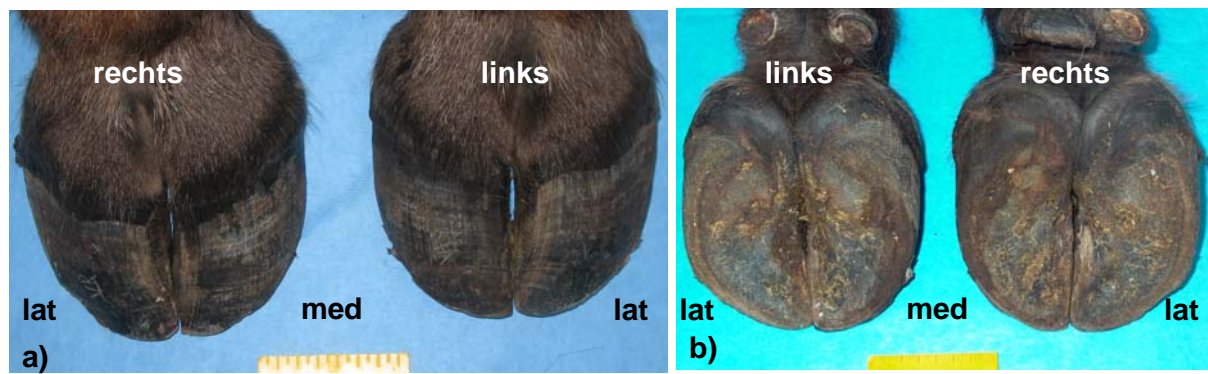


Abb. 19: Bison Nr. 9, weiblich, 18-jährig, 500 kg, Tierparkhaltung. a) Dorsale und b) palmare Ansicht der Klauen der **Vordergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. Die lateralen Klauen erscheinen breiter als die medialen.

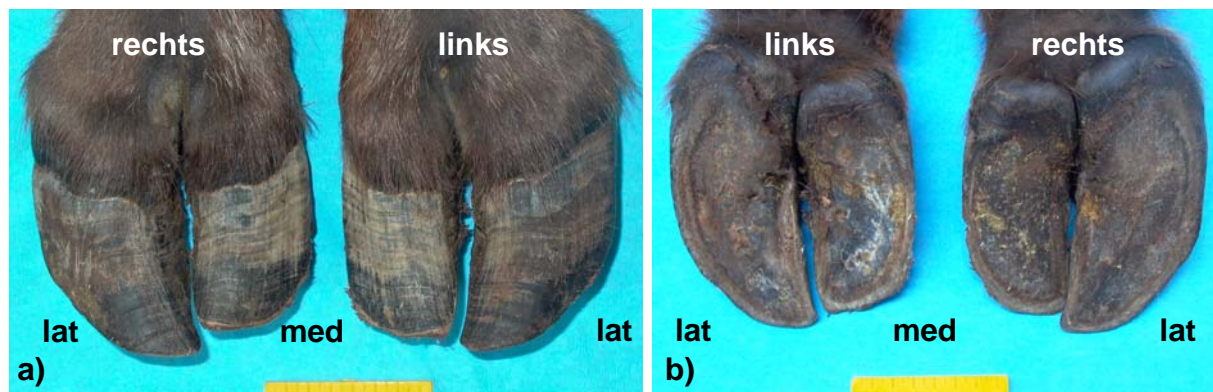


Abb. 20: Bison Nr. 9, weiblich, 18-jährig, 500 kg, Tierparkhaltung im Zoo Zürich. a) Dorsale und b) plantare Ansicht der Klauen der **Hintergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. Die Dorsalwandlänge ist auch bei diesem Tier medial länger als lateral, da die Kronsaumhöhe unterschiedlich ist. Die Hohlkehlung ist bei diesem Tier recht wenig ausgeprägt. Die Aussenklauen sind gegenüber den Innenklauen stark vergrössert.

Abgebrochene Klauenspitzen sind gelegentlich sichtbar, jedoch treten die Bruchstellen noch weit von der Lederhaut entfernt auf und gehen nicht mit Deformationen des Hornschuhes einher. Eine 18-jährige Bisonkuh weist deutliche Grössenunterschiede, vergleichbar mit den Klauen von im Stall gehaltenen Rindern, auf (Abb. 19 und 20).

An den Vordergliedmassen sind die medialen Dorsalwandlängen um durchschnittlich 2.68 mm länger als die der lateralen Klauen ($p = 0.059$). An den

Hintergliedmassen ist dies umgekehrt, hier sind die Dorsalwände der lateralen Klauen um 1.37 mm länger als die der medialen Klauen (Tab. 5). Unter den untersuchten Wildwiederkäuern zeigen nur die Bisons diese grössere Dorsalwandlänge an den lateralen Klauen. Diese Besonderheit weist jedoch nur eine geringe statistische Signifikanz auf ($p < 0.05$). Die Klauen der Schultergliedmassen besitzen längere Dorsalwände als die der Beckengliedmassen.

Tab. 5: Längen- und Breitenmasse am Klauenschuh von Bisons. Mittelwerte in mm (N: Anzahl der Zehen)

| | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Dorsalwandlänge | lateral | 11 | 86.91 | 7.38 | 87.09 | 7.60 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 90.09 | 9.68 | 89.27 | 7.18 |
| Dorsalwandlänge | lateral | 11 | 84.91 | 5.75 | 87.36 | 10.60 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 84.27 | 7.25 | 85.27 | 7.03 |
| Ballenbreite | lateral | 11 | 57.55 | 6.27 | 55.55 | 6.59 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 54.18 | 7.01 | 53.18 | 7.51 |
| Ballenbreite | lateral | 11 | 53.82 | 3.60 | 52.45 | 4.30 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 49.82 | 3.66 | 49.09 | 4.44 |
| Sohlenbreite | lateral | 11 | 54.18 | 6.83 | 53.36 | 7.59 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 51.27 | 7.32 | 52.00 | 8.02 |
| Sohlenbreite | lateral | 11 | 47.27 | 5.53 | 46.82 | 5.46 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 44.09 | 6.07 | 44.00 | 4.88 |

Die Ballen der lateralen Klauen sind sowohl an den Schulter- (2.87 mm) als auch an den Beckengliedmassen (3.68 mm) im Mittelwertvergleich signifikant breiter ($p < 0.01$) als die der medialen. Die Klauen der Vordergliedmassen weisen im Vergleich mit den Hintergliedmassen die grösseren Ballenbreiten auf ($p < 0.05$). Die Sohlen der lateralen Klauen sind jeweils breiter als die der medialen ($p < 0.05$). An den Schultergliedmassen beträgt der Unterschied 2.14 mm, an den Beckengliedmassen durchschnittlich 3 mm. Die Sohlen der Vordergliedmassen sind breiter als die der Hintergliedmassen ($p < 0.001$).

6.1.3 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Damhirschen

Die Klauen der Damhirsche sind infolge des gleichen Alters und Geschlechts sehr einheitlich. Sie zeigen mehrheitlich eine gute Klauenqualität. Zwei Klauenspitzen sind abgebrochen. Die Klauen der Damhirsche weisen eine recht grosse Ballenlänge auf, die etwa die Hälfte der Fussungsfläche ausmacht (Abb. 21 b). Der Tragrand zeigt generell eine physiologische Abnutzung.

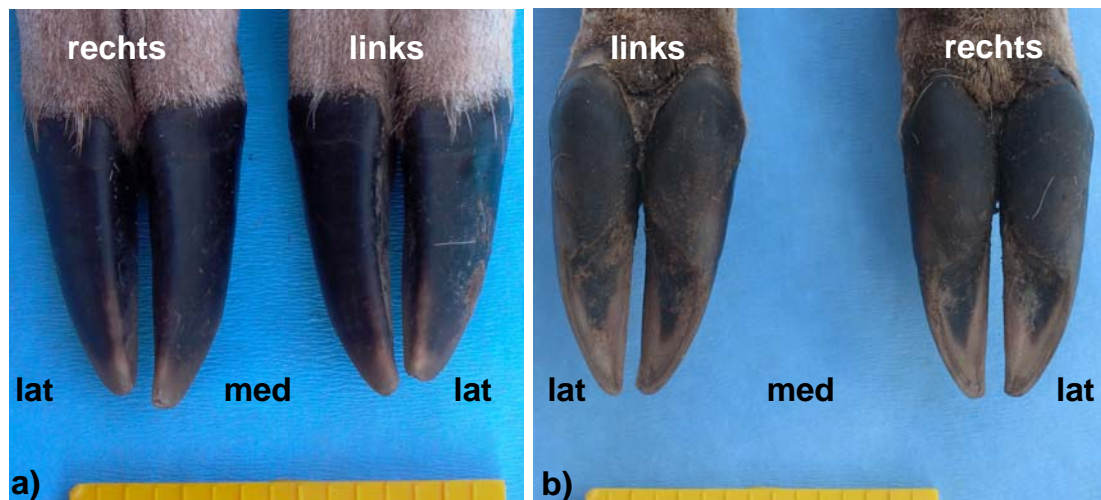


Abb. 21: Damhirsch Nr. 3, männlich, 1-jährig, Wildparkhaltung. a) Dorsale und b) palmare Ansicht der Klauen der **Vordergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. Die Dorsalwände der medialen Klauen sind deutlich länger als die der lateralen.

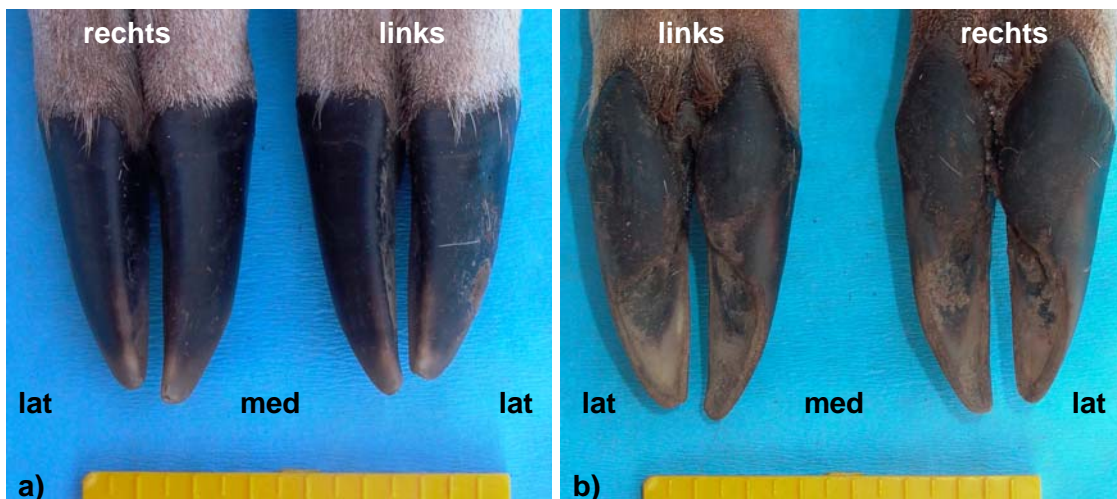


Abb. 22: Damhirsch Nr. 3, männlich, 1-jährig, Wildparkhaltung. a) Dorsale und b) plantare Ansicht der Klauen der **Hintergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. Die Dorsalwände der medialen Klauen sind deutlich länger, der Ballen und die Sohlen der lateralen Klauen sind jedoch breiter.

Bei den Damhirschen sind die Dorsalwände der medialen Klauen mit einer hohen statistischen Signifikanz ($p < 0.01$) länger als die der lateralen. An den Vordergliedmassen beträgt die Mittelwertdifferenz 1.23 mm, an den Hintergliedmassen 1.82 mm.

Die Ballen sind jeweils an den lateralen Klauen breiter als an den medialen. Der Unterschied beträgt an den Vordergliedmassen durchschnittlich 1 mm, an den Hintergliedmassen 0.91 mm. Die Klauen der Schultergliedmassen weisen breitere Ballen auf als die der Beckengliedmassen.

Tab. 6: Längen- und Breitenmasse am Klauenschuh von. Damhirschen
Mittelwerte in mm (N: Anzahl der Zehen)

| | | N | links | | rechts | |
|---------------------------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Dorsalwandlänge Schultergliedmasse | lateral | 11 | 47.09 | 2.43 | 47.45 | 2.34 |
| | medial | 11 | 48.18 | 3.12 | 48.82 | 2.68 |
| Dorsalwandlänge Beckengliedmasse | lateral | 11 | 47.27 | 1.95 | 46.82 | 1.83 |
| | medial | 11 | 49.09 | 1.22 | 48.64 | 1.43 |
| Ballenbreite Schultergliedmasse | lateral | 11 | 18.00 | 1.90 | 17.45 | 1.81 |
| | medial | 11 | 16.82 | 1.66 | 16.64 | 1.29 |
| Ballenbreite Beckengliedmasse | lateral | 11 | 17.27 | 1.85 | 16.00 | 1.18 |
| | medial | 11 | 15.91 | 1.38 | 15.55 | 1.13 |
| Sohlenbreite Schultergliedmasse | lateral | 11 | 15.27 | 1.62 | 15.73 | 1.19 |
| | medial | 11 | 14.27 | 1.35 | 15.00 | 1.26 |
| Sohlenbreite Beckengliedmasse | lateral | 11 | 15.36 | 1.29 | 15.45 | 1.29 |
| | medial | 11 | 14.36 | 1.21 | 14.27 | 1.01 |

Die lateralen Klauen weisen im Mittelwert die breiteren Sohlen auf ($p < 0.01$). An den Vordergliedmassen beträgt die Mittelwertdifferenz der Breite der lateralen Klauen mit der medialen Klauen 0.87 mm, an den Hintergliedmassen 1.09 mm.

6.1.4 Beurteilungen und Messungen an den Klauen von Elchen

Die Klauen der Elche zeigen einen harten und stark ausgebildeten Tragrand. Die Hornschuhe sehen glänzend und wie lackiert aus. Die Klauenspitzen sind durch die natürliche Abnutzung an der äussersten Spitze etwas aufgeraut und abgerundet. An den Klauen der Beckengliedmassen zeigt sich ein deutlicher Höhenunterschied im Bereich des Kronsaums. Der Kronsaum der lateralen Klaue liegt weiter distal als derjenige der medialen Klaue.

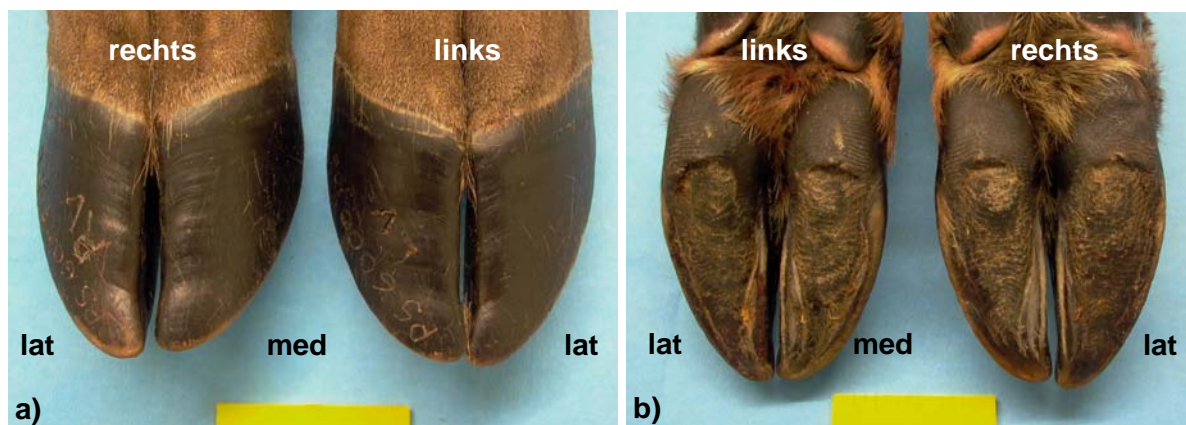


Abb. 23: Elch Nr. 1, männlich, 2-jährig, freilebend in Finnland. a) Dorsale und b) palmare Ansicht der Klauen der **Vordergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. Die Dorsalwand der lateralen Klauen ist geringgradig länger als die der medialen.

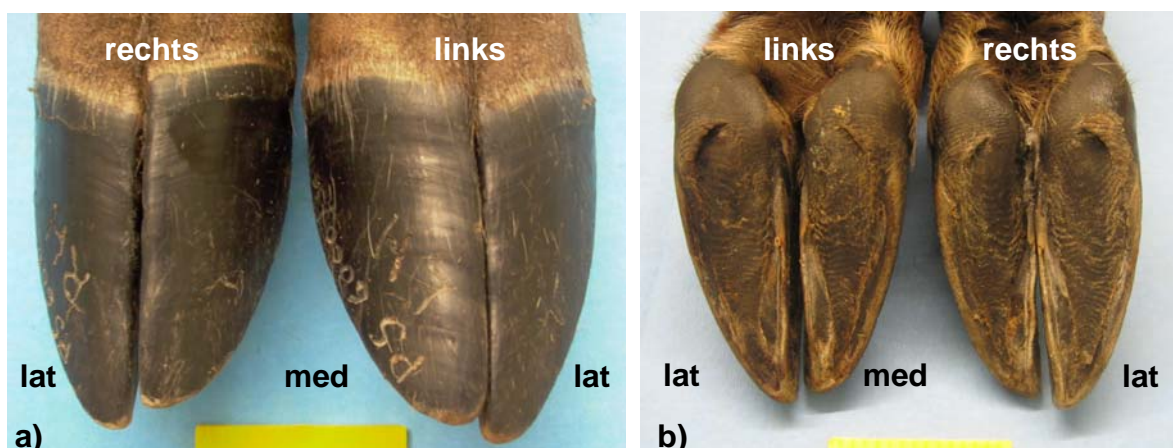


Abb. 24: Elch Nr. 1, männlich, 2-jährig, freilebend in Finnland. a) Dorsale und b) plantare Ansicht der Klauen der **Hintergliedmassen**. Gelber Massstab mit Länge 7.5 cm. a) Deutlicher Höhenunterschied am dorsalen Anteil des Kronsaums zwischen Aussen- und Innenklaue. b) Solearansicht: die Aussenklauen sind breiter und länger als die Innenklauen.

Bei den Elchen zeigen die Dorsalwandlängen von lateraler und medialer Klaue an den Vordergliedmassen im Mittelwert keinen signifikanten Unterschied. An den Hintergliedmassen sind die Dorsalwandlängen der medialen Klauen im Mittelwert geringfügig länger als die der lateralen Klauen. Die Dorsalwände der Hintergliedmassen sind mit einer durchschnittlichen Differenz von 10.95 mm deutlich länger als die der Vordergliedmassen ($p < 0.001$).

Tab. 7: Längen- und Breitenmasse am Klauenschuh von Elchen. Mittelwerte in mm (N: Anzahl der Zehen)

| | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Dorsalwandlänge | lateral | 11 | 85.00 | 14.90 | 85.82 | 14.95 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 85.18 | 15.45 | 85.55 | 14.95 |
| Dorsalwandlänge | lateral | 11 | 96.45 | 18.11 | 94.91 | 19.50 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 96.82 | 18.71 | 97.18 | 18.08 |
| Ballenbreite | lateral | 11 | 47.64 | 6.59 | 46.91 | 7.50 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 45.09 | 5.75 | 44.55 | 6.88 |
| Ballenbreite | lateral | 11 | 44.82 | 7.15 | 44.18 | 5.29 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 42.18 | 8.35 | 42.27 | 6.42 |
| Sohlenbreite | lateral | 11 | 39.91 | 6.74 | 40.00 | 6.05 |
| Schultergliedmasse | medial | 11 | 38.09 | 5.30 | 38.18 | 6.13 |
| Sohlenbreite | lateral | 11 | 37.55 | 6.61 | 37.45 | 6.47 |
| Beckengliedmasse | medial | 11 | 34.55 | 6.56 | 34.27 | 6.39 |

Die lateralen Ballen sind im Mittelwert breiter als die medialen ($p < 0.05$). An den Klauen der Vordergliedmassen beträgt die Differenz der Mittelwerte 2.46 mm, an den Klauen der Hintergliedmassen 2.28 mm. Die Ballen sind an den Vordergliedmassen im Mittelwert mit 2.69 mm signifikant breiter als an den Hintergliedmassen ($p < 0.05$). Es zeigt sich auch, dass die Sohlen der lateralen Klauen im Mittelwert signifikant breiter sind als die der medialen Klauen ($p < 0.01$). Die Sohlen der Vordergliedmassen sind mit einer hohen Signifikanz im Mittelwert 3.09 mm breiter als die der Hintergliedmassen ($p < 0.01$).

6.1.5 Zusammenfassung der Befunde am Klauenschuh

Bei allen untersuchten Wildwiederkäuern, mit Ausnahme der Elche, sind die Mittelwerte der Dorsalwandlänge der medialen Klauen der Vordergliedmassen grösser als die der lateralen Klauen (Abb. 25). Auch an den Hintergliedmassen ist dies der Fall, nun aber mit Ausnahme der Bisons. Die Ballen und Sohlen sind bei allen Tierarten, mit Ausnahme der Gämsen, an den Vorder- wie Hintergliedmassen an den lateralen Klauen breiter als an den medialen Klauen. Bei den Gämsen zeigen sich die Sohlenbreiten an medialen und lateralen Klauen insgesamt sehr ausgeglichen. Die Ballenbreite und die Sohlenbreite sind an den Schultergliedmassen grösser als an den Beckengliedmassen.

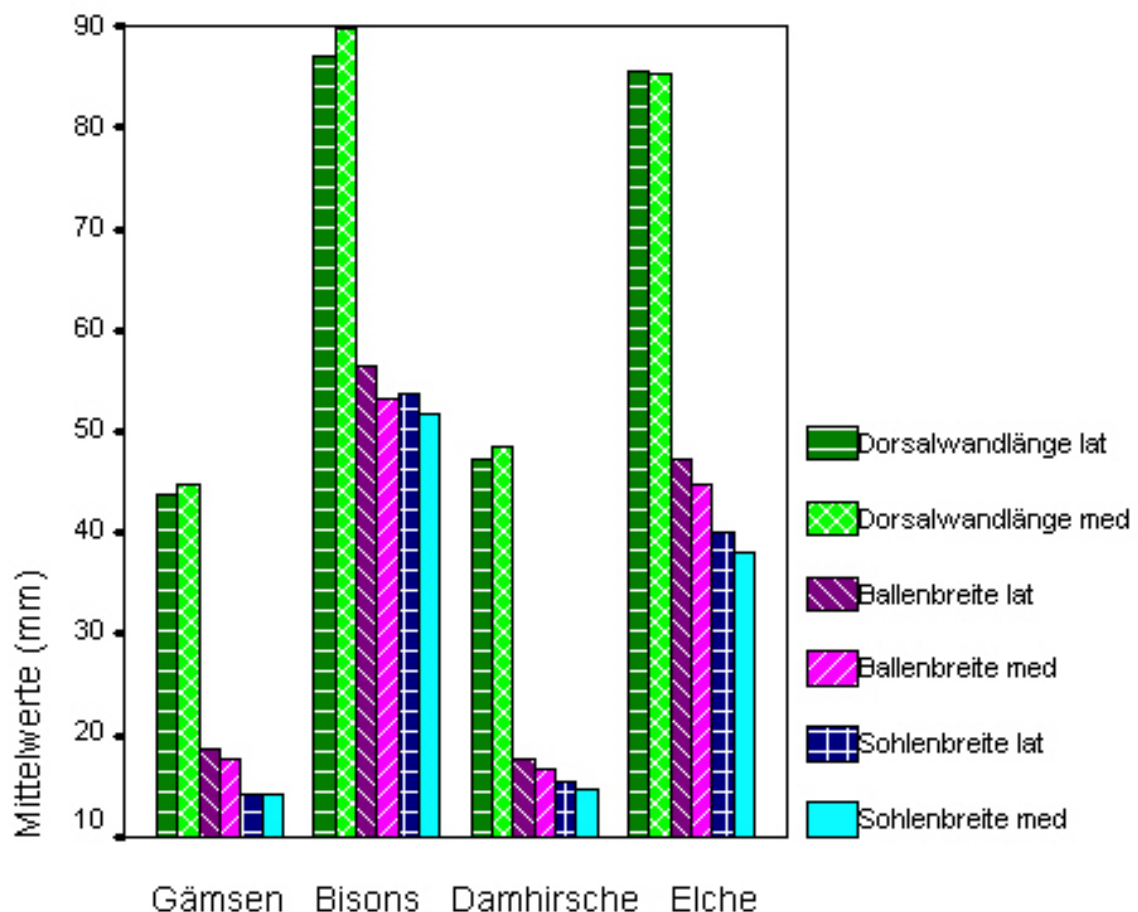


Abb. 25: Vergleich der Mittelwerte der gemessenen Parameter der Klauenschuhe der **Schultergliedmassen**, alle vier untersuchten Wildwiederkäuerarten.

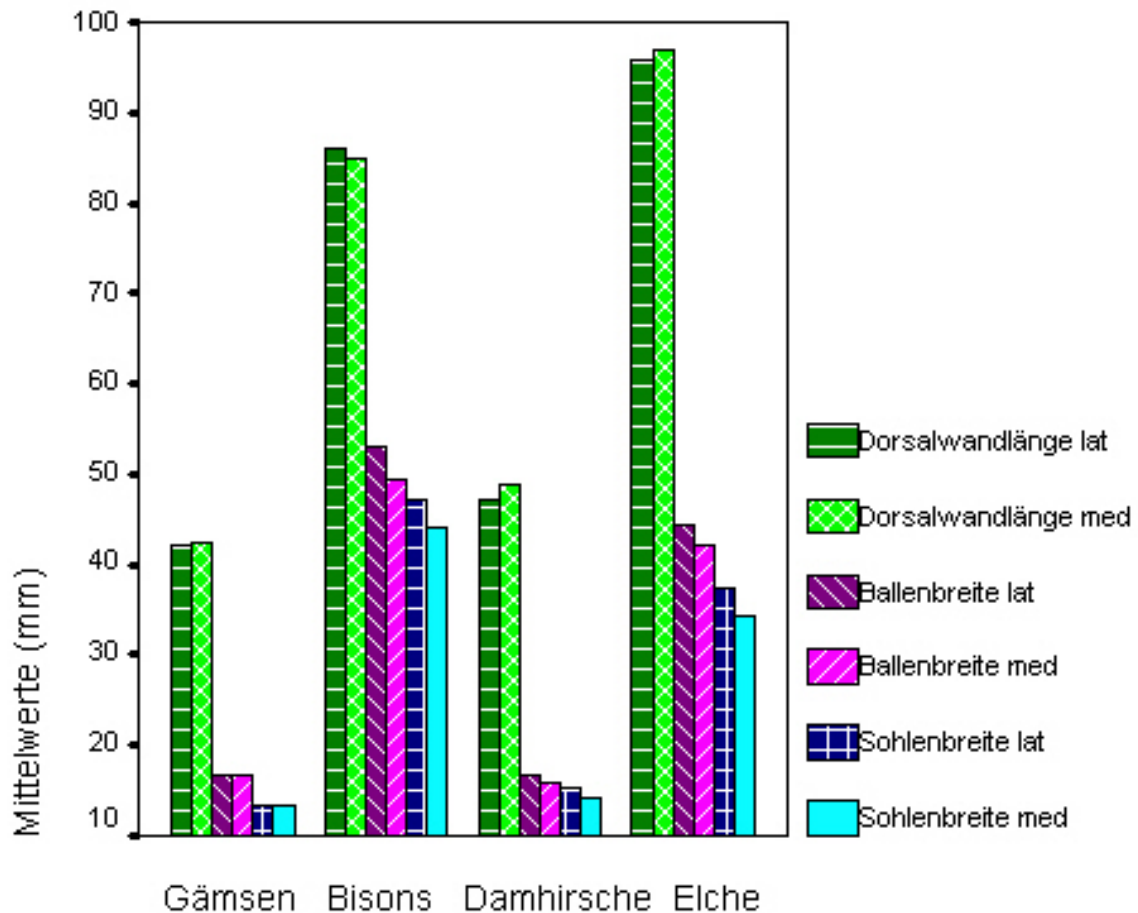


Abb. 26: Vergleich der Mittelwerte der gemessenen Parameter an den Klauenschuhen der **Beckengliedmassen**, alle vier Wildwiederkäuerarten.

Die Dorsalwände der Gämsen und Bisons sind an den Vordergliedmassen durchschnittlich um 1.94 mm, respektiv 2.89 mm länger als an den Hintergliedmassen. Bei den Damhirschen ist kein Unterschied ersichtlich. Die Dorsalwände der Hintergliedmassen der Elche sind mit 10.96 mm deutlich länger als die der Vordergliedmassen.

Bei allen vier untersuchten Wildwiederkäuern sind die Ballen der Klauen der Vordergliedmassen 6 - 9 % breiter als die der Hintergliedmassen. Ebenso verhält es sich mit den Sohlenbreiten. Diese sind an den Vordergliedmassen bei den Bisons um 15 %, bei den Elchen um 9 %, bei den Gämsen um 8 % und bei den Damhirschen um 2 % breiter als die Sohlen der Hintergliedmassen.

6.2 Ergebnisse der Messungen am Röntgenbild

6.2.1 Röntgenmessungen an Zehen von Gämsen

6.2.1.1 Längenmasse der Zehenknochen

An den **Schultergliedmassen** sind die lateralen Zehenknochen der Gämsen im Durchschnitt länger als die medialen Knochen, mit Ausnahme des Klauenbeines (Tab. 8). Betrachtet man die Distanz von der Klauenbeinspitze bis zur Epiphysenfuge, ist die Gesamtlänge der lateralen Zehe im Mittel nur um Weniges und knapp nicht signifikant länger als die der medialen ($p = 0.052$).

Tab. 8: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MC-Kondylen | lateral | 11 | 1.76 | 0.06 | 1.77 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.73 | 0.05 | 1.73 | 0.05 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 3.63 | 0.15 | 3.62 | 0.16 |
| | medial | 11 | 3.62 | 0.16 | 3.61 | 0.16 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 2.25 | 0.10 | 2.24 | 0.10 |
| | medial | 11 | 2.20 | 0.10 | 2.21 | 0.10 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 2.54 | 0.22 | 2.55 | 0.23 |
| | medial | 11 | 2.56 | 0.21 | 2.60 | 0.26 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 10.18 | 0.13 | 10.18 | 0.14 |
| | medial | 11 | 10.11 | 0.13 | 10.15 | 0.14 |
| Differenz | | 11 | 0.07 | | 0.03 | |

In Prozent ausgedrückt, ist jedoch in 73 % der Fälle die laterale und nur in 27 % die mediale Gesamtlänge grösser (Tab. 9). Die lateralen Metakarpalkondylen sind bei nahezu allen Knochen länger als die medialen.

Tab. 9: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 21 | 95 | 1 | 5 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 16 | 73 | 4 | 18 | 2 | 9 |
| Kronbein | 22 | 15 | 68 | 4 | 18 | 3 | 14 |
| Klauenbein | 22 | 6 | 27 | 2 | 9 | 14 | 64 |
| Gesamtlänge | 22 | 16 | 73 | 0 | 0 | 6 | 27 |

An den **Beckengliedmassen** ist der Längenunterschied zwischen der Gesamtlänge der lateralen und medialen Zehe eindeutiger und statistisch hoch signifikant ($p < 0.001$) vorhanden. Die Differenz zwischen der Summe lateralen und medialen Knochenlängen beträgt etwa 3 mm (Tab. 10). Ohne Ausnahme, also zu 100 %, ist die Gesamtlänge der lateralen Zehe grösser. Das führt daher, dass an den Beckengliedmassen auch die lateralen Klauenbeine im Mittelwert, und zwar zu einem Anteil von 95 % (Tab. 11), länger sind als die medialen Klauenbeine.

Tab. 10: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MT-Kondylen | lateral | 11 | 1.77 | 0.08 | 1.78 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.73 | 0.07 | 1.72 | 0.05 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 3.99 | 0.25 | 4.01 | 0.24 |
| | medial | 11 | 3.95 | 0.24 | 3.95 | 0.22 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 2.46 | 0.17 | 2.50 | 0.20 |
| | medial | 11 | 2.36 | 0.18 | 2.40 | 0.18 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 2.68 | 0.30 | 2.66 | 0.27 |
| | medial | 11 | 2.59 | 0.29 | 2.56 | 0.23 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 10.90 | 0.20 | 10.95 | 0.20 |
| | medial | 11 | 10.63 | 0.20 | 10.63 | 0.17 |
| Differenz | | 11 | 0.27 | | 0.32 | |

An den Beckengliedmassen sind immer die lateralen Knochen länger als die medialen, so dass der Längenunterschied mit jedem Knochen nach distal zunimmt.

Tab. 11: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** der Gämsen (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|---|------------------|---|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 21 | 95 | 1 | 5 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kronbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Klauenbein | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Gesamtlänge | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Im Vergleich der Knochenlängen von Schultergliedmassen mit den entsprechenden der Beckengliedmassen sind die Fessel-, Kron- und Klauenbeine der Beckengliedmassen signifikant länger als die der Schultergliedmassen. Nur zwischen den Kondylen der Ossa metacarpalia und Ossa metatarsalia sowie zwischen den medialen Klauenbeinen kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abb. 27). Die lateralen Klauenbeine weisen im Mittelwert an den Beckengliedmassen eine um 1 mm grössere Länge als die medialen Klauenbeine auf. Die Fesselbeine und Kronbeine der Hintergliedmassen sind durchschnittlich um 3.5 mm bzw. 2 mm länger als die entsprechenden Knochen der Schultergliedmassen.

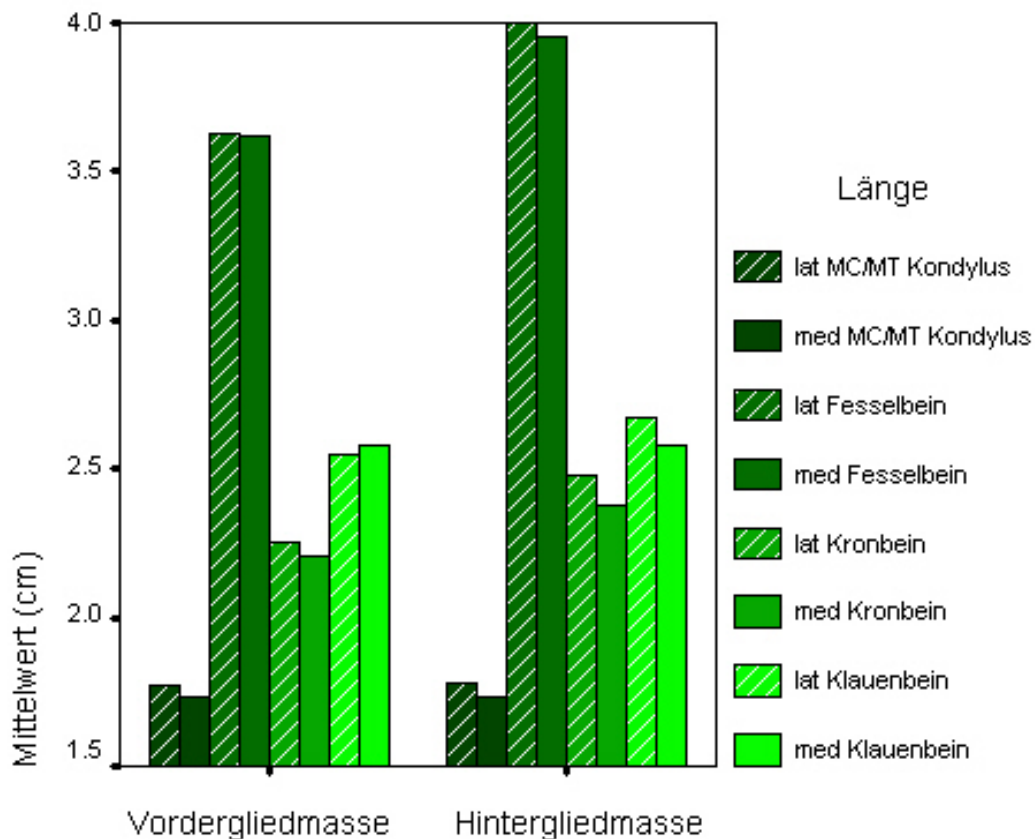


Abb. 27: Längenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmassen von Gämsen. Der Hauptanteil des Längenunterschiedes findet sich im Kronbein.

6.2.1.2 Breitenmasse der Zehenknochen

Betrachtet man die Breite der verschiedenen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** der Gämsen, fällt auf, dass die Mittelwerte der medialen grösser als die der lateralen Zehenknochen sind. Am grössten ist der Anteil mit 82 % an den Kondylen der Ossa metacarpalia (Tab. 13). Der Unterschied liegt zwischen 0.1-1 mm. Das Klauenbein macht hier wieder eine Ausnahme, denn in 77 % ist der laterale Knochen breiter als der mediale.

Tab. 12: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MC-Kondylen | lateral | 11 | 1.23 | 0.05 | 1.25 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.27 | 0.06 | 1.27 | 0.06 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 1.33 | 0.05 | 1.33 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.36 | 0.05 | 1.35 | 0.06 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 1.27 | 0.04 | 1.28 | 0.04 |
| | medial | 11 | 1.37 | 0.30 | 1.29 | 0.04 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 1.15 | 0.07 | 1.14 | 0.07 |
| | medial | 11 | 1.06 | 0.09 | 1.07 | 0.09 |

Tab. 13: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 1 | 5 | 3 | 14 | 18 | 82 |
| Fesselbein | 22 | 0 | 0 | 3 | 14 | 19 | 86 |
| Kronbein | 22 | 5 | 23 | 7 | 32 | 10 | 45 |
| Klauenbein | 22 | 17 | 77 | 0 | 0 | 5 | 23 |

An den **Beckengliedmassen** ist die Breite der Metatarsuskondylen zu 100 % und des Fesselbeines zu 95 % am medialen Knochen grösser als am lateralen (Tab. 15). Der Breitenunterschied beträgt 0.4-0.9 mm. An den Hintergliedmassen weisen nicht nur die lateralen Klauenbeine eine um durchschnittlich 0.75 mm eine grössere Breite auf als die medialen, sondern auch die lateralen Kronbeine sind im Durchschnitt 0,1 mm breiter als die medialen. Die Dominanz der lateralen Seite ist jedoch bezüglich des Kronbeins nur gering, da nur in 50 % der laterale Knochen breiter ist. Unter den übrigen ist

in 41 % der mediale Knochen breiter und in 9 % der Fälle sind die Knochen von gleicher Breite.

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Längen- und Breitenwerten der rechten und linken Gliedmassen, mit Ausnahme der Breitenmessungen der lateralen Kondylen der Ossa metacarpalia, der lateralen Fesselbeine und der Kronbeine der Hintergliedmassen (alle $p < 0.05$).

Tab. 14: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MT-Kondylen | lateral | 11 | 1.18 | 0.07 | 1.19 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.27 | 0.07 | 1.26 | 0.05 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 1.28 | 0.07 | 1.30 | 0.07 |
| | medial | 11 | 1.32 | 0.08 | 1.34 | 0.07 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 1.23 | 0.06 | 1.25 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.22 | 0.05 | 1.23 | 0.05 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 1.05 | 0.08 | 1.09 | 0.10 |
| | medial | 11 | 0.99 | 0.10 | 1.00 | 0.09 |

Tab. 15: Verteilung der Breitendominanz (in %) von lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Gämsen (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|---|------------------|-----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 100 |
| Fesselbein | 22 | 1 | 5 | 0 | 0 | 21 | 95 |
| Kronbein | 22 | 11 | 50 | 2 | 9 | 9 | 41 |
| Klauenbein | 22 | 20 | 91 | 1 | 5 | 1 | 5 |

Vergleicht man die Durchschnittswerte der einzelnen Knochenbreiten der Schultergliedmasse mit denjenigen der Beckengliedmasse, wird deutlich, dass zwischen den Metakarpus- und Metatarsuskondylen kaum ein Unterschied besteht, hingegen die Fessel-, Kron- und Klauenbeine der Vordergliedmassen 0.4, 0.7 resp. 0.8 mm breiter sind als die der Hintergliedmassen (Abb. 28), jedoch sind nur die Hälfte dieser Werte statistisch relevant.

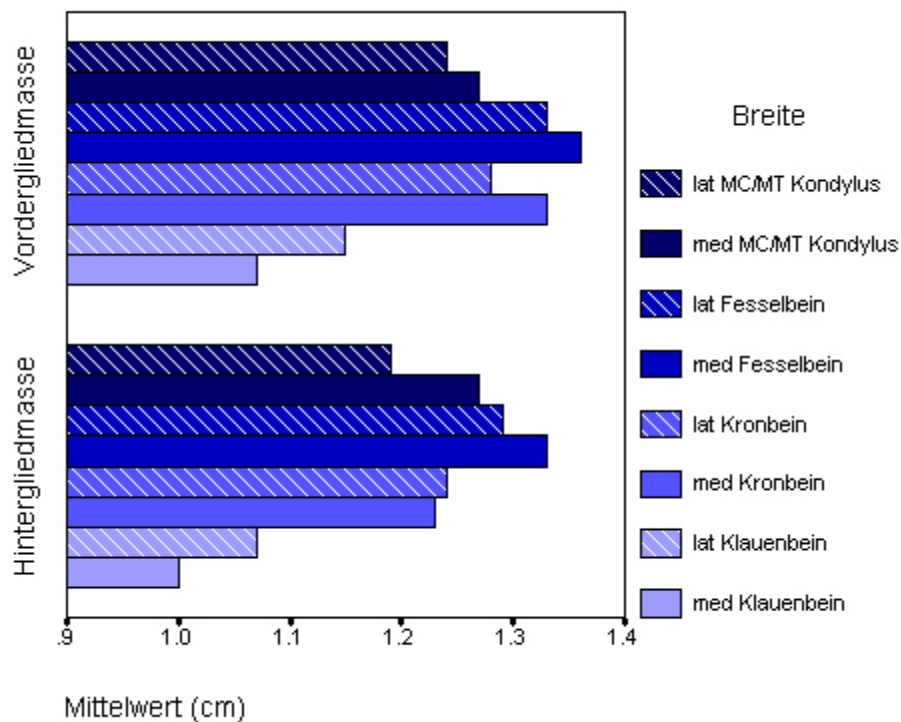


Abb. 28: Breitenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen von Gämsen, aufgeteilt in Vorder- und Hintergliedmassen. Die Knochen der Vordergliedmassen sind generell breiter als die entsprechenden Knochen der Hintergliedmassen.

6.2.1.3 Verlauf der Mittellinie des Röhrebeins

Die verlängerte Linie durch die Mitte des Röhrebeines (siehe Abb. 9) kreuzt die Gerade zwischen der lateralen und der medialen Klauenbeinspitzen bei 73 % der Röntgenbilder paramedian auf der lateralen Seite. Von den 27 %, in denen die Mittellinie mehr medial zu liegen kommen, sind in 9 Fällen die Vordergliedmassen und nur in 3 Fällen die Hintergliedmassen betroffen.

6.2.2 Röntgenmessungen an Zehen von Bisons

6.2.2.1 Längenmasse der Zehenknochen

Die lateralen Knochen der **Schultergliedmasse** der Bisons sind im Mittelwert statistisch signifikant länger als die medialen Knochen. Bei mehr als 90 % der Gliedmassen sind die Kron-, Fesselbeine und Metakarpuskondylen der lateralen Seite länger als die entsprechenden Knochen der medialen Seite. Nur die Klauenbeine bilden eine Ausnahme, denn in fast 60 % der Fälle ist das mediale Klauenbein länger als der laterale (Tab. 17). Werden die einzelnen Zehenlängen jedoch aufaddiert, ist die Gesamtlänge der lateralen Seite zu 95 % länger als die mediale Seite.

Tab. 16: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MC-Kondylen | lateral | 11 | 3.46 | 0.13 | 3.45 | 0.12 |
| | medial | 11 | 3.41 | 0.12 | 3.40 | 0.12 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 5.14 | 0.24 | 5.14 | 0.23 |
| | medial | 11 | 4.86 | 0.41 | 4.97 | 0.20 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 3.63 | 0.14 | 3.62 | 0.16 |
| | medial | 11 | 3.55 | 0.14 | 3.55 | 0.18 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 5.22 | 0.40 | 5.13 | 0.37 |
| | medial | 11 | 5.26 | 0.39 | 5.19 | 0.43 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 17.45 | 0.23 | 17.34 | 0.22 |
| | medial | 11 | 17.08 | 0.27 | 17.11 | 0.23 |
| Differenz | | 11 | 0.37 | | 0.23 | |

Tab. 17: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|---|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 21 | 95 | 1 | 5 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kronbein | 22 | 20 | 91 | 1 | 5 | 1 | 5 |
| Klauenbein | 22 | 9 | 41 | 0 | 0 | 13 | 59 |
| Gesamtlänge | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |

Die lateralen Knochen der einzelnen Zehenglieder der **Beckengliedmasse** der Bisons sind mit Ausnahme des Klauenbeins länger als die medialen Knochen. Der kleinste Längenunterschied besteht im Kronbein mit nur 0.6 mm im Mittelwert. An den Kondylen der Ossa metatarsalia beträgt er hingegen 1.1 mm und im Fesselbein 1.6 mm. Das mediale Klauenbein ist in 73 % der Fälle länger als der laterale Knochen, im Mittelwert um 0.07 mm. In der Gesamtlänge besteht somit ein Unterschied, indem die laterale Seite in 91 % der Zehen oder insgesamt um einem Mittelwert von 1.3 mm länger ist. Alle Werte sind hoch signifikant ($p < 0.01$), mit Ausnahme der Mittelwerte für die Klauenbeine, bei denen die Mittelwerte nicht signifikant ($p = 0.063$) unterschiedlich sind.

Zwischen linker und rechter **Vordergliedmasse** bestehen signifikante Unterschiede in der Gesamtlänge der lateralen Zehen und der Länge der lateralen Klauenbeine sowie der medialen Klauenbeine (alle $p < 0.05$).

Tab. 18: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Tiere; MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MT-Kondylen | lateral | 11 | 3.41 | 0.10 | 3.40 | 0.11 |
| | medial | 11 | 3.31 | 0.10 | 3.32 | 0.13 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 5.35 | 0.22 | 5.35 | 0.22 |
| | medial | 11 | 5.20 | 0.23 | 5.19 | 0.24 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 3.86 | 0.14 | 3.85 | 0.15 |
| | medial | 11 | 3.80 | 0.15 | 3.80 | 0.14 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 4.94 | 0.27 | 4.93 | 0.34 |
| | medial | 11 | 5.01 | 0.31 | 5.01 | 0.29 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 17.56 | 0.18 | 17.53 | 0.41 |
| | medial | 11 | 17.32 | 0.20 | 17.32 | 0.20 |
| Differenz | | 11 | 0.24 | | 0.21 | |

Tab. 19: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|---|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 20 | 91 | 2 | 9 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kronbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Klauenbein | 22 | 6 | 27 | 0 | 0 | 16 | 73 |
| Gesamtlänge | 22 | 20 | 91 | 0 | 0 | 2 | 9 |

Die Länge der Kondylen der Ossa metacarpalia ist um durchschnittlich 0.7 mm grösser als die der Ossa metatarsalia, hingegen sind die Fessel- und Kronbeine der Hintergliedmassen im Durchschnitt um je 2.4 mm länger als an den Vordergliedmassen. Die Klauenbeine der Schultergliedmassen sind um 2.3 mm länger als die der Beckengliedmassen. Die Gesamtlänge der Hintergliedmassen ist um durchschnittlich 1.9 mm grösser als die aufaddierte Knochenlänge der Vordergliedmassen.

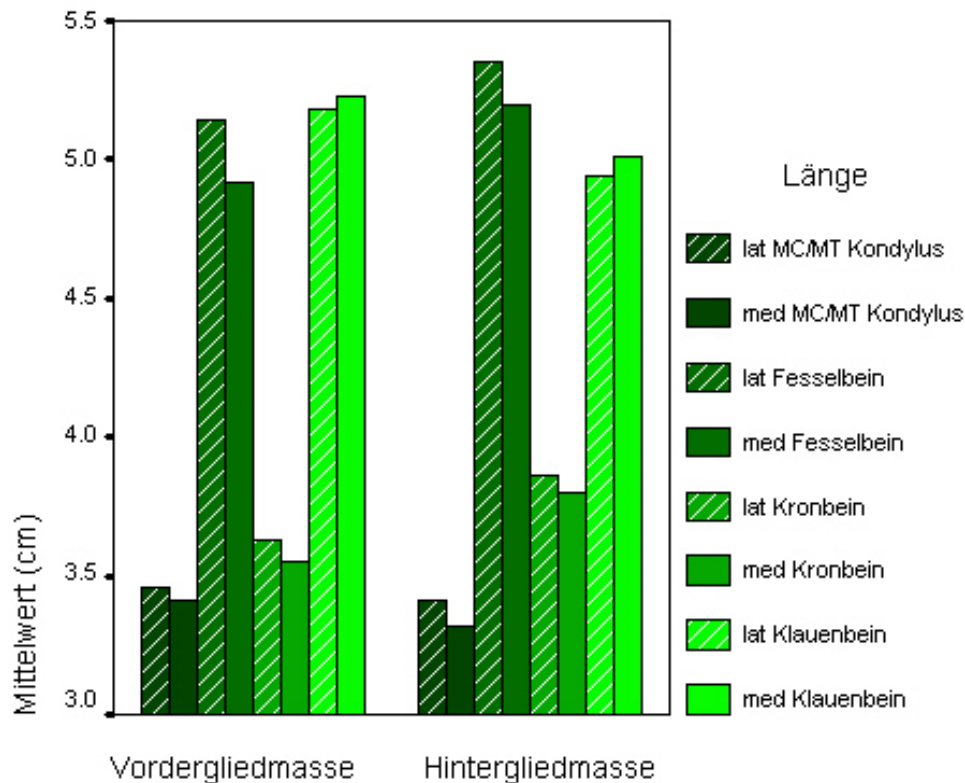


Abb. 29: Längenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmasse von Bisons.

6.2.2.2 Breitenmasse der Zehenknochen

An den **Schultergliedmassen** sind alle medialen Knochen, mit Ausnahme des Klauenbeins, im Mittelwert breiter als die lateralen Knochen (Tab. 20). Dies ist insbesondere bei den Kondylen der Ossa metacarpalia der Fall. Die Fesselbeine sind zu 82 %, die Kronbeine zu 73 % breiten als die lateralen. Bei den Klauenbeinen ist in 95 % aller Fälle das laterale breiter abgebildet als das mediale, mit einem Unterschied von im Mittelwert 4.6 mm.

Tab. 20: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MC-Kondylen | lateral | 11 | 2.97 | 0.19 | 3.01 | 0.21 |
| | medial | 11 | 3.16 | 0.22 | 3.17 | 0.22 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 3.42 | 0.27 | 3.45 | 0.28 |
| | medial | 11 | 3.47 | 0.25 | 3.50 | 0.30 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 3.41 | 0.21 | 3.43 | 0.20 |
| | medial | 11 | 3.43 | 0.23 | 3.43 | 0.21 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 3.49 | 0.31 | 3.37 | 0.36 |
| | medial | 11 | 2.90 | 0.41 | 3.01 | 0.45 |

Tab. 21: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|---|------------------|-----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 100 |
| Fesselbein | 22 | 3 | 14 | 1 | 5 | 18 | 82 |
| Kronbein | 22 | 6 | 27 | 0 | 0 | 16 | 73 |
| Klauenbein | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |

An der **Beckengliedmasse** sind die medialen Kondylen der Ossa metatarsalia im Mittelwert signifikant um 1.8 mm und die Fesselbeine um 0.9 mm breiter als die lateralen ($p < 0.001$). Bei den Breitenmessungen der Kronbeine ergibt sich ein sehr ausgeglichenes Bild. In 95 % ist das laterale Klauenbein breiter als das mediale mit einem durchschnittlichen Wert von 3.7 mm (Tab. 22 + 23).

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parametern der linken und rechten Beckengliedmasse.

Tab. 22: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MT-Kondylen | lateral | 11 | 2.65 | 0.12 | 2.66 | 0.11 |
| | medial | 11 | 2.84 | 0.15 | 2.83 | 0.14 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 3.12 | 0.20 | 3.11 | 0.20 |
| | medial | 11 | 3.21 | 0.23 | 3.20 | 0.22 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 3.16 | 0.16 | 3.15 | 0.19 |
| | medial | 11 | 3.15 | 0.16 | 3.16 | 0.16 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 2.96 | 0.20 | 2.88 | 0.20 |
| | medial | 11 | 2.51 | 0.20 | 2.59 | 0.22 |

Tab. 23: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Bisons (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|-----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 100 |
| Fesselbein | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 100 |
| Kronbein | 22 | 5 | 23 | 3 | 14 | 14 | 64 |
| Klauenbein | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |

Der Vergleich der Knochenbreiten von Vorder- und Hintergliedmassen zeigt, dass die Knochen der Vordergliedmassen jeweils signifikant breiter sind als die der Hintergliedmassen. Der Unterschied zwischen den Kondylen der Ossa metacarpalia und metatarsalia beträgt 3.3 mm, im Fesselbein beläuft sich der durchschnittliche Unterschied auf 2.5 mm, im Kronbein 2.7 mm und im Klauenbein sogar auf 4.6 mm.

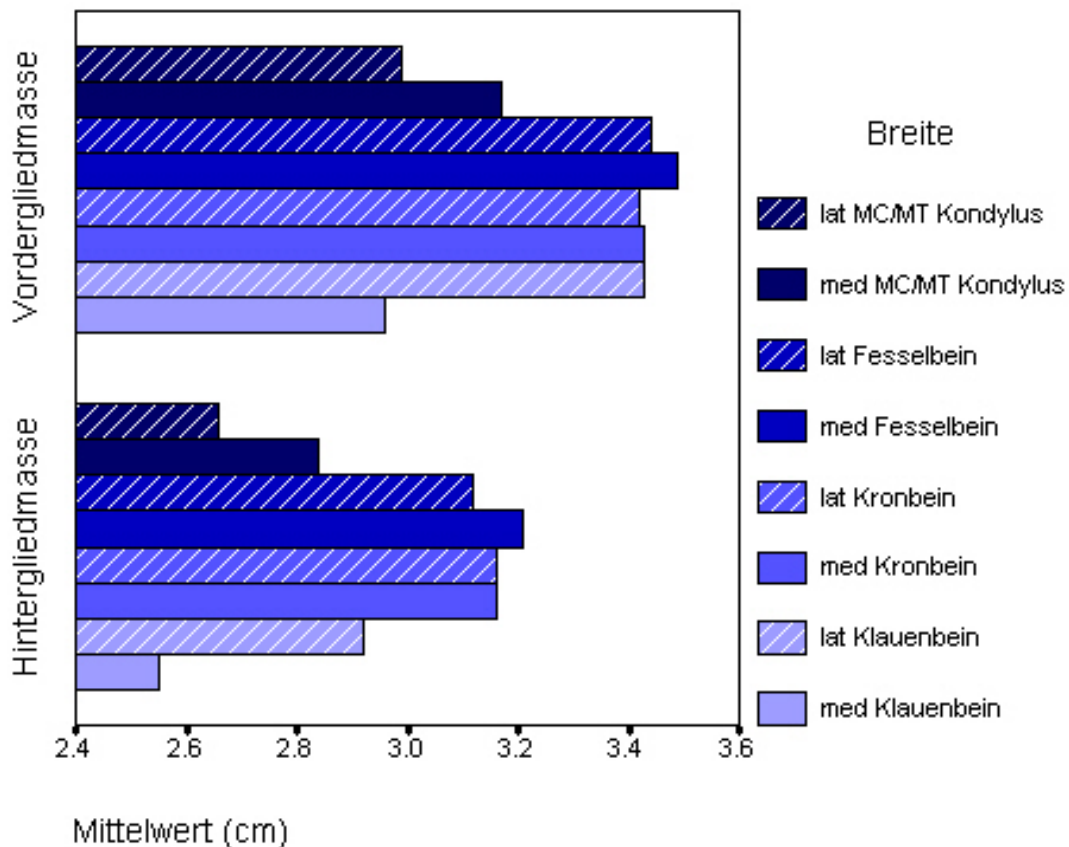


Abb. 30: Breitenvergleich der Röhrbeinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmassen von Bisons. Die Knochen der Vordergliedmassen sind generell breiter als die der Hintergliedmassen.

6.2.2.3 Verlauf der Mittellinie des Röhrbeins

Bei den Bisons schneidet die verlängerte Röhrbeinmittellinie die Verbindungslinie zwischen den Klauenbeinspitzen in 89 % näher an der lateralen Zehe. Bei den fünf Zehen, bei denen die Röhrbeinmittellinie näher an den medialen Klauen verläuft, sind dreimal die Schulter- und zweimal die Beckengliedmasse betroffen.

6.2.3 Röntgenmessungen an Zehen von Damhirschen

6.2.3.1 Längenmasse der Zehenknochen

Bei den Zehenknochen der **Schultergliedmassen** der Damhirsche sind stets die lateralen Zehenglieder länger als die medialen, mit Ausnahme des Klauenbeines. Dies trifft für die Kondylen der Ossa metacarpalia und das Fesselbein zu 100 %

zu. Der Längenunterschied beträgt im Mittelwert nur 0.5 mm, der Unterschied ist aber statistisch signifikant ($p < 0.01$). Die Längen der Kronbeine sind fast identisch. Zu 50 % ist der laterale Knochen länger, im Durchschnitt aber nur um 0.1 mm. Bei 36 % der Zehen sind beide Kronbeine gleich lang, in 14 % ist das mediale Kronbein geringfügig länger. Bei den Klauenbeinen gibt es einen durchschnittlichen Längenunterschied von 0.01 mm zugunsten des medialen Knochens, der bei 64 % der Zehen länger ist. Ein Gesamtlängenunterschied von 0.9 mm zugunsten der lateralen Zehenglieder ist auf den Längenunterschied zwischen den Metakarpuskondylen und den Fesselbeinen zurückzuführen. Ein signifikanter Unterschied zwischen den an den linken und rechten Vordergliedmassen ermittelten Längenparametern besteht nur an den medialen Kondylen der Ossa metacarpalia und den lateralen Fesselbeinen (beide $p < 0.05$).

Tab. 24: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MC-Kondylen | lateral | 11 | 1.74 | 0.05 | 1.74 | 0.05 |
| | medial | 11 | 1.69 | 0.04 | 1.70 | 0.04 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 3.33 | 0.17 | 3.35 | 0.17 |
| | medial | 11 | 3.29 | 0.18 | 3.29 | 0.17 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 2.33 | 0.10 | 2.32 | 0.11 |
| | medial | 11 | 2.32 | 0.10 | 2.31 | 0.11 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 2.33 | 0.11 | 2.31 | 0.11 |
| | medial | 11 | 2.34 | 0.13 | 2.33 | 0.11 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 9.73 | 0.11 | 9.72 | 0.11 |
| | medial | 11 | 9.64 | 0.11 | 9.63 | 0.11 |
| Differenz | | 11 | 0.09 | | 0.09 | |

Tab. 25: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kronbein | 22 | 11 | 50 | 8 | 36 | 3 | 14 |
| Klauenbein | 22 | 6 | 27 | 2 | 9 | 14 | 64 |
| Gesamtlänge | 22 | 21 | 95 | 1 | 5 | 0 | 0 |

Bei den Zehenknochen der **Beckengliedmassen** verhält es sich ähnlich. Auch hier sind die lateralen Kondylen der Ossa metatarsalia und die Fesselbeine signifikant ($p < 0.001$) länger als die medialen, mit einem Mittelwert von 0.9 mm. Die lateralen Kronbeine sind in 91 % der Fälle länger als die medialen, mit einem durchschnittlichen Längenunterschied von 0.3 mm. Bei den Klauenbeinen verhält es sich wieder umgekehrt, dort ist in 77 % aller Messungen der mediale Knochen länger, durchschnittlich um 0.3 mm. Somit ergibt sich an allen Zehen ein Gesamtlängenunterschied von durchschnittlich 1.5 mm, um den die lateralen Zehen länger sind.

Tab. 26: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MT-Kondylen | lateral | 11 | 1.91 | 0.03 | 1.92 | 0.03 |
| | medial | 11 | 1.83 | 0.03 | 1.83 | 0.03 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 3.56 | 0.12 | 3.56 | 0.13 |
| | medial | 11 | 3.50 | 0.15 | 3.50 | 0.15 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 2.63 | 0.12 | 2.62 | 0.10 |
| | medial | 11 | 2.60 | 0.12 | 2.60 | 0.11 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 2.27 | 0.08 | 2.28 | 0.08 |
| | medial | 11 | 2.30 | 0.08 | 2.30 | 0.08 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 10.37 | 0.09 | 10.38 | 0.09 |
| | medial | 11 | 10.23 | 0.10 | 10.23 | 0.09 |
| Differenz | | 11 | 0.14 | | 0.15 | |

Tab. 27: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kronbein | 22 | 20 | 91 | 2 | 9 | 0 | 0 |
| Klauenbein | 22 | 2 | 9 | 3 | 14 | 17 | 77 |
| Gesamtlänge | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Die Längen der Metatarsuskondylen, die Fessel- und Kronbeine sind an den Beckengliedmassen durchschnittlich grösser als an den Schultergliedmassen. Der Unterschied in den Kondylen beträgt 1.6 mm, bei den Fesselbeinen 2.2 mm und bei den Kronbeinen 2.9 mm. Demgegenüber sind die Klauenbeine der Vordergliedmassen mit durchschnittlich 0.4 mm geringfügig länger als die der Hintergliedmassen.

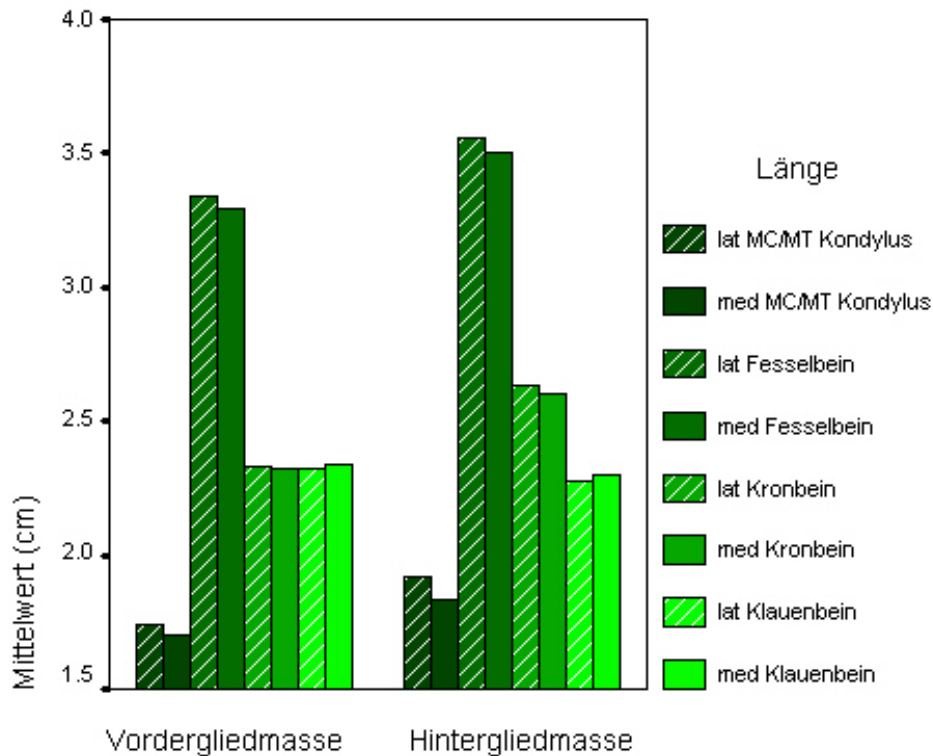


Abb. 31: Längenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmasse von Damhirschen.

6.2.3.2. Breitenmasse der Zehenknochen

Die Breitenmessungen der **Schultergliedmassen** der Damhirsche ergibt, dass 73 % der medialen Kondylen des Metakarpus breiter sind als die lateralen Knochen, im Mittelwert um 0.3 mm ($p < 0.01$). Auch die medialen Fesselbeine sind in 68 % der Fälle breiter als die lateralen, mit Breitenunterschied von 0.15 mm ($p < 0.01$). Bei 32 % der untersuchten Zehen sind die lateralen und medialen Fesselbeine gleich breit. Bei der Hälfte der ausgemessenen Beine sind die Kronbeine lateral und medial gleich breit, in 27 % ist das laterale geringfügig breiter, in 23 % das mediale (Tab. 29). Das laterale Klauenbein ist in 86 % der Fälle breiter als der mediale Knochen, durchschnittlich um 0.7 mm. Statistisch signifikante Unterschiede in den Werten der Breitenmessung zwischen linker und rechter Vordergliedmasse gibt es beim medialen Fesselbein und beim lateralen Kronbein (beide $p < 0.05$).

Tab. 28: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MC-Kondylen | lateral | 11 | 1.26 | 0.05 | 1.28 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.30 | 0.07 | 1.30 | 0.06 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 1.29 | 0.07 | 1.31 | 0.07 |
| | medial | 11 | 1.31 | 0.07 | 1.32 | 0.08 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 1.21 | 0.05 | 1.23 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.21 | 0.06 | 1.22 | 0.06 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 1.12 | 0.05 | 1.17 | 0.11 |
| | medial | 11 | 1.07 | 0.11 | 1.08 | 0.07 |

Tab. 29: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 1 | 5 | 5 | 23 | 16 | 73 |
| Fesselbein | 22 | 0 | 0 | 7 | 32 | 15 | 68 |
| Kronbein | 22 | 6 | 27 | 11 | 50 | 5 | 23 |
| Klauenbein | 22 | 19 | 86 | 0 | 0 | 3 | 14 |

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Zehenknochen der **Beckengliedmassen**, an denen zu 68 % die medialen Metatarsuskondylen breiter sind als die lateralen, im Mittelwertvergleich um 0.15 mm. Der Durchschnittswert der Fesselbeinbreiten zeigt, dass die medialen Fesselbeine mit 0.1 mm und in 59 % der Fälle breiter sind als die lateralen. Bei den Kronbeinen ist der ermittelte Durchschnittswert der Breitenmessungen für medial und lateral gleich, jedoch sind 64 % der medialen Kronbeine breiter. Beim Klauenbein ist mit 82 % Anteil der laterale Knochen breiter, mit einem signifikanten ($p < 0.05$) Mittelwert von 0.9 mm. Zwischen den Messungsergebnissen der linken und rechten Beckengliedmassen besteht kein signifikanter Unterschied mit Ausnahme der

Breitenmessung der lateralen Fesselbeine und der lateralen Klauenbeine ($p < 0.05$).

Tab. 30: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MT-Kondylen | lateral | 11 | 1.29 | 0.04 | 1.30 | 0.05 |
| | medial | 11 | 1.31 | 0.05 | 1.31 | 0.05 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 1.34 | 0.06 | 1.36 | 0.05 |
| | medial | 11 | 1.35 | 0.07 | 1.37 | 0.05 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 1.20 | 0.05 | 1.22 | 0.04 |
| | medial | 11 | 1.21 | 0.05 | 1.21 | 0.04 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 1.14 | 0.07 | 1.18 | 0.06 |
| | medial | 11 | 1.07 | 0.07 | 1.07 | 0.08 |

Tab. 31: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Damhirschen (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 1 | 5 | 6 | 27 | 15 | 68 |
| Fesselbein | 22 | 4 | 18 | 5 | 23 | 13 | 59 |
| Kronbein | 22 | 6 | 27 | 2 | 9 | 14 | 64 |
| Klauenbein | 22 | 18 | 82 | 0 | 0 | 4 | 18 |

Der Vergleich der Knochenbreiten zwischen Vorder- und Hintergliedmassen ergibt, dass die Knochen praktisch dieselben Breiten aufweisen. Mit einer Differenz von 0.1 - 0.4 mm sind die Knochen der Hintergliedmassen geringgradig und nur bei den Kondylen und Fesselbeinen signifikant breiter.

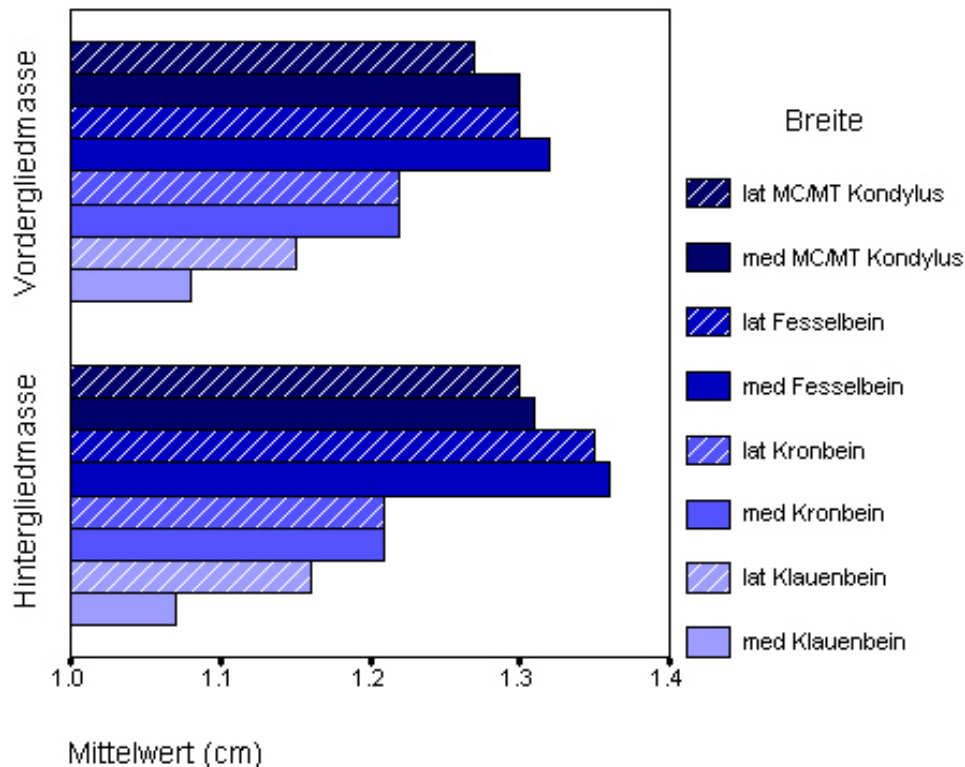


Abb. 32: Breitenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmassen von Damhirschen. Die Fesselbeine der Beckengliedmassen sind geringfügig breiter als die der Schultergliedmassen.

6.2.1.3 Verlauf der Mittellinie des Röhreins

Die verlängerte Mittellinie der Röhreine kreuzt die Verbindungslinie der Klauenbeinspitzen bei 70 % der Zehen näher an der lateralen Klauenbeinspitze. In den 13 Fällen, in denen sie mehr nach medial zu liegen kommt, sind in 11 Fällen die Schulter- und nur zweimal die Beckengliedmassen betroffen.

6.2.4 Röntgenmessungen an Zehen von Elchen

6.2.4.1 Längenmasse der Zehenknochen

An den **Schultergliedmassen** der Elche sind die lateralen Zehenglieder im Mittelwert jeweils länger als die medialen Knochen. An den Kondylen der Ossa metacarpalia beträgt der Längenunterschied im Mittelwertvergleich 1 mm, wobei in allen Fällen der laterale signifikant länger ist. Bei Fessel- und

Kronbeinen sind zu 95 % die lateralen Knochen länger, durchschnittlich um 0.6 mm. Das laterale Klauenbein ist bei 77 % der Zehen länger als das mediale. Der Gesamtlängenunterschied zwischen lateralen und medialen Knochen beträgt an der linken Vordergliedmasse 3.5 mm und an der rechten Vordergliedmasse 2.2 mm zugunsten der lateralen Seite. Es ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der linken und der rechten Schultergliedmasse.

Tab. 32: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MC-Kondylen | lateral | 11 | 3.57 | 0.16 | 3.57 | 0.15 |
| | medial | 11 | 3.47 | 0.16 | 3.48 | 0.16 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 6.10 | 0.43 | 6.09 | 0.46 |
| | medial | 11 | 6.04 | 0.45 | 6.04 | 0.45 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 4.47 | 0.27 | 4.46 | 0.29 |
| | medial | 11 | 4.40 | 0.27 | 4.39 | 0.28 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 5.50 | 1.04 | 5.41 | 1.25 |
| | medial | 11 | 5.38 | 1.05 | 5.40 | 1.00 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 19.64 | 0.48 | 19.53 | 0.54 |
| | medial | 11 | 19.29 | 0.48 | 19.31 | 0.47 |
| Differenz | | 11 | 0.35 | | 0.22 | |

Tab. 33: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|---|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MC-Kondylen | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Kronbein | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Klauenbein | 22 | 17 | 77 | 0 | 0 | 5 | 23 |
| Gesamtlänge | 22 | 21 | 95 | 0 | 0 | 1 | 5 |

An den **Beckengliedmassen** stellen sich die Verhältnisse noch ausgeprägter dar. Die Mittelwerte der lateralen Knochen sind immer länger. Daraus folgt ein Längenunterschied der Gesamtlänge von 5.4 mm zugunsten der lateralen Seite. Die Differenzen betragen im Mittelwert an den Metatarsuskondylen 1.5 mm, an den Fesselbeinen 1.75 mm und an den Kronbeinen 1.55 mm, im Klauenbein nur 0.6 mm. Das laterale Klauenbein ist bei 77 % der Präparate länger als das mediale, bei den anderen Zehenknochen ist dies zu 100 % der Fall. Die Unterschiede sind alle signifikant, mit Ausnahme der Werte für das Klauenbein. Zwischen den Parametern der Zehenglieder der linken und der rechten Beckengliedmasse besteht nur in der Längenmessung der medialen Fesselbeine und der lateralen Kronbeine ein signifikanter Unterschied ($p < 0.05$).

Tab. 34: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|-------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Länge MT-Kondylen | lateral | 11 | 3.96 | 0.11 | 3.97 | 0.11 |
| | medial | 11 | 3.82 | 0.13 | 3.81 | 0.12 |
| Länge Fesselbein | lateral | 11 | 6.59 | 0.52 | 6.57 | 0.51 |
| | medial | 11 | 6.42 | 0.54 | 6.39 | 5.13 |
| Länge Kronbein | lateral | 11 | 5.16 | 0.31 | 5.10 | 0.30 |
| | medial | 11 | 4.99 | 0.31 | 4.96 | 0.26 |
| Länge Klauenbein | lateral | 11 | 5.85 | 1.05 | 5.92 | 1.05 |
| | medial | 11 | 5.79 | 1.00 | 5.87 | 1.05 |
| Gesamtlänge | lateral | 11 | 21.56 | 0.49 | 21.56 | 0.49 |
| | medial | 11 | 21.02 | 0.49 | 21.03 | 0.48 |
| Differenz | | 11 | 0.54 | | 0.53 | |

Tab. 35: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|-----|------------------|---|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fesselbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kronbein | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Klauenbein | 22 | 17 | 77 | 0 | 0 | 5 | 23 |
| Gesamtlänge | 22 | 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Die Zehenknochen der Hintergliedmassen sind in allen Fällen im Mittelwert länger als die entsprechenden der Vordergliedmassen. Bei den Metakarpuskondylen beträgt die Differenz 3.7 mm, bei den Fesselbeinen 4.3 mm, bei den Kronbeinen 6.2 mm und bei den Klauenbeinen 4.4 mm.

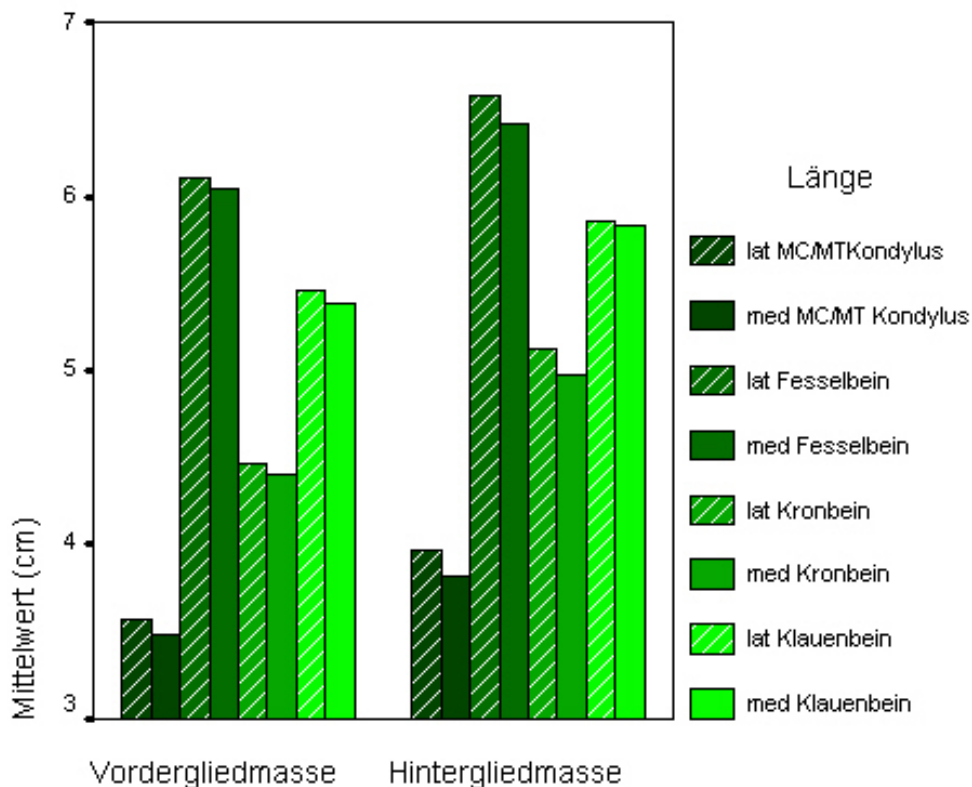


Abb. 33: Längenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmassen von Elchen.

6.2.4.2 Breitenmasse der Zehenknochen

Die Breitenmessungen an den Zehenknochen der **Vorderläufe** der Elche zeigen, dass in 82 % der Fälle die entsprechenden medialen Kondylen der Ossa metacarpalia und das mediale Fesselbein breiter als die lateralen Knochen sind. Der Unterschied liegt bei einem Mittelwert von 0.75 mm. Bei der Hälfte aller Messungen ist das laterale Kronbein breiter als das mediale, mit einem Breitenunterschied von durchschnittlich 0.45 mm. In 27 % der Fälle sind beide Kronbeine gleich breit, in den restlichen 23 % ist der mediale Knochen breiter. Beim Klauenbein ist der Breitenunterschied zugunsten der lateralen Seite mit durchschnittlich 1.8 mm deutlicher und statistisch signifikant ($p < 0.05$) vorhanden.

Tab. 36: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Schultergliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Tiere, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MC-Kondylen | lateral | 11 | 2.63 | 0.17 | 2.62 | 0.20 |
| | medial | 11 | 2.70 | 0.21 | 2.70 | 0.26 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 2.84 | 0.26 | 2.86 | 0.27 |
| | medial | 11 | 2.91 | 0.26 | 2.94 | 0.26 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 2.63 | 0.20 | 2.64 | 0.22 |
| | medial | 11 | 2.59 | 0.19 | 2.59 | 0.20 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 2.43 | 0.20 | 2.49 | 0.35 |
| | medial | 11 | 2.28 | 0.21 | 2.27 | 0.22 |

Tab. 37: Verteilung der Breitendominanz (in %) von lateralen und medialen Zehenknochen an den **Schultergliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Zehen, MC: Ossa metacarpalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|------|------------------|------|
| | | Anzahl | % | Anzahl | In % | Anzahl | In % |
| MC-Kondylen | 22 | 4 | 18 | 0 | 0 | 18 | 82 |
| Fesselbein | 22 | 1 | 5 | 3 | 14 | 18 | 82 |
| Kronbein | 22 | 11 | 50 | 6 | 27 | 5 | 23 |
| Klauenbein | 22 | 16 | 73 | 0 | 0 | 6 | 27 |

An den **Hinterläufen** sind die medialen Kondylen der Ossa metatarsalia und die medialen Fesselbeine im Durchschnittswert 0.3 mm breiter als die lateralen. Die lateralen Kronbeine sind im Mittelwert mit 0.3 mm etwas breiter als die medialen. Betrachtet man die Breitendominanz, ist das Verhältnis zwischen den Zehen in etwa ausgeglichen. Das laterale Klauenbein ist in 77 % der Fälle breiter als das mediale, und dies mit einem signifikanten Unterschied ($p < 0.05$) und einem Mittelwert von 1.75 mm.

Tab. 38: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den **Beckengliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Tiere, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | | N | links | | rechts | |
|--------------------|---------|----|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | | Mittelwert | Standard-abweichung | Mittelwert | Standard-abweichung |
| Breite MT-Kondylen | lateral | 11 | 2.55 | 0.23 | 2.58 | 0.22 |
| | medial | 11 | 2.59 | 0.27 | 2.60 | 0.28 |
| Breite Fesselbein | lateral | 11 | 2.93 | 0.27 | 2.92 | 0.29 |
| | medial | 11 | 2.97 | 0.27 | 2.95 | 0.28 |
| Breite Kronbein | lateral | 11 | 2.74 | 0.25 | 2.73 | 0.26 |
| | medial | 11 | 2.72 | 0.24 | 2.69 | 0.23 |
| Breite Klauenbein | lateral | 11 | 2.55 | 0.23 | 2.54 | 0.24 |
| | medial | 11 | 2.35 | 0.24 | 2.39 | 0.25 |

Tab. 39: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den **Beckengliedmassen** von Elchen (N: Anzahl der Zehen, MT: Ossa metatarsalia)

| Knochen | N | lateral > medial | | lateral = medial | | lateral < medial | |
|-------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|----|
| | | Anzahl | % | Anzahl | % | Anzahl | % |
| MT-Kondylen | 22 | 4 | 18 | 4 | 18 | 14 | 64 |
| Fesselbein | 22 | 2 | 9 | 3 | 14 | 17 | 77 |
| Kronbein | 22 | 10 | 45 | 2 | 9 | 10 | 45 |
| Klauenbein | 22 | 17 | 77 | 2 | 9 | 3 | 14 |

Die Knochen der Hintergliedmassen sind durchschnittlich mit 0.6 - 1 mm geringfügig breiter als die der Vordergliedmassen, mit Ausnahme der Röhrbeinkondylen. Hier sind die Gelenkrollen der Ossa metacarpalia breiter als die der Ossa metatarsalia.

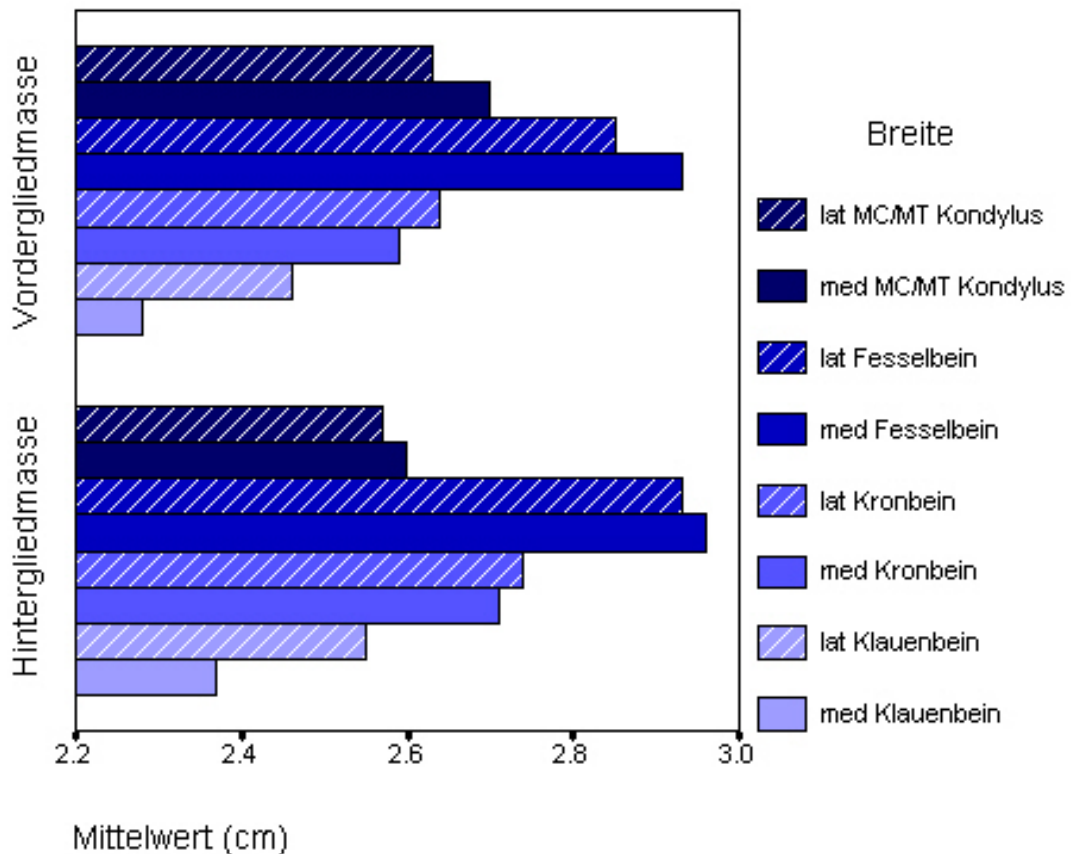


Abb. 34: Breitenvergleich der Röhrbeinkondylen und der Zehenknochen der Vorder- und Hintergliedmasse von Elchen.

4.2.1.3 Verlauf der Mittellinie des Röhrbeins

Die Mittelachse der Röhrbeine kreuzt bei 89 % der Füße die Verbindungslinie der Klauenbeine mehr lateral. Bei den 11 % der Röntgenaufnahmen, in denen die verlängerte Mittellinie des Röhrbeines mehr medial zu liegen kommt, sind jeweils Vordergliedmassen betroffen.

6.2.5 Zusammenfassung der Befunde

Die Gesamtlänge der lateralen Zehenknochen ist bei allen vier Tierarten im Mittelwert länger als die der medialen Zehenknochen. Der Unterschied zeigt sich an den Hintergliedmassen deutlicher und statistisch hoch signifikant (Gämsen, Damhirsche, Elche: $p < 0.001$, Bison: $p < 0.005$). Bei den Gämsen, Bisons und Damhirschen ist der Längenunterschied auch an den Schultergliedmassen statistisch signifikant vorhanden ($p < 0.05$). Bei den Elchen beträgt der Längenunterschied im Mittelwert an der linken Vordergliedmasse 3.5 mm ($p < 0.001$) und an der rechten Vordergliedmasse 2.2 mm ($p = 0.137$) zugunsten der lateralen Seite.

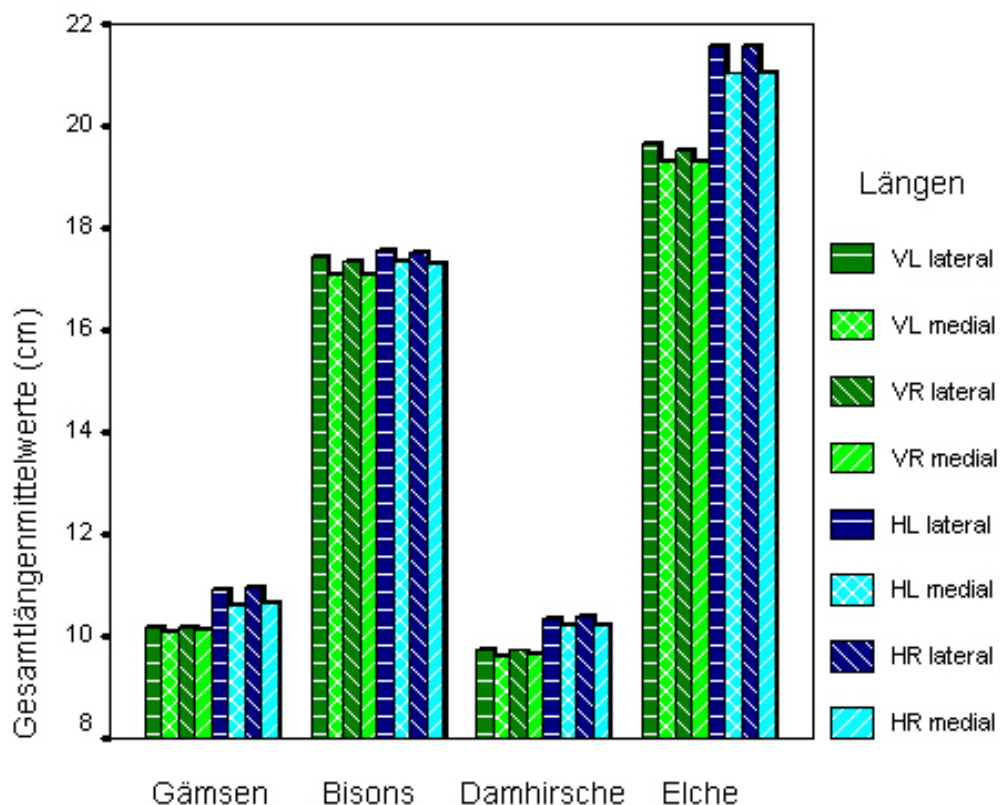


Abb. 35: Mittelwerte der im Röntgenbild gemessenen und addierten Knochenlängen. Vergleich zwischen lateral und medial. VR, VL: rechte bzw. linke Schultergliedmasse, HR, HL: rechte bzw. linke Beckengliedmasse.

Betrachtet man die einzelnen Zehenknochen, ist auffällig, dass die lateralen Knochen im Mittelwert länger sind als die medialen. Sowohl der Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Knochen, der Vergleich der Mittelwerte der Gesamtlängen als auch die Verteilung der Längendominanz weisen auf eine Asymmetrie in der Zehenlänge hin.

Eine Ausnahme von diesem regelmässigen Unterschied liegt in der Länge der Klauenbeine. Hier sind die medialen Klauenbeine häufig länger als die lateralen. Bei den Bisons und den Damhirschen sind die medialen Klauenbeine an den Vordergliedmassen zu 60 %, an den Hintergliedmassen zu 78 % länger als die lateralen. Bei den Gämsen sind die medialen Klauenbeine der Schultergliedmassen in über 60 % länger als die lateralen, an den Beckengliedmassen zu 95 %. Bei den Elchen besteht die Besonderheit, dass an den Vorder- und Hintergliedmassen die lateralen Klauenbeine mit einem Anteil von 77 % länger sind als die medialen Klauenbeine.

Beim Vergleich der Knochenlängen der Schulter- mit den Beckengliedmassen kann festgestellt werden, dass die Knochen der Beckengliedmassen meistens länger sind. Das Klauenbein bildet bei den Bisons und den Damhirschen eine Ausnahme. Auch im Vergleich der Kondylen der Ossa metacarpalia und metatarsalia sind die Mittelwerte nicht eindeutig unterschiedlich. Die Gesamtlänge der Zehenknochen der Beckengliedmasse überragt jedoch die der Schultergliedmasse immer. Besonders deutlich ist dies bei den Elchen, Gämsen und Damhirschen der Fall (Abb. 35).

Die Breitenmessungen zeigen, dass die medialen Knochen der Kondylen und Fesselbeine generell bei den untersuchten Wildwiederkäuern breiter sind als die lateralen Knochen. Die Kronbeine zeigen die grösste Variabilität. An den Schultergliedmassen sind bei Gämsen und Bisons die medialen Kronbeine im Durchschnitt breiter, bei den Damhirschen sehr ausgeglichen und bei den Elchen die lateralen Kronbeine breiter als die medialen Knochen. An den Beckengliedmassen der Gämsen und Elche sind die lateralen Kronbeine

durchschnittlich etwas breiter als die medialen Knochen. Bei den Bisons und Damhirschen sind zu 64 % die Knochen der medialen Kronbeine breiter als die der lateralen.

Bei den Klauenbeinen sind bei allen vier Wildwiederkäuerarten an Vorder- und Hintergliedmasse die lateralen Knochen breiter als die medialen.

Ein Vergleich der Zehenbreiten der Schulter- mit denen der Beckengliedmassen zeigt, dass die Knochen der Vordergliedmassen bei den Gämsen und Bisons breiter sind (Abb. 28, 30) als die entsprechenden der Hintergliedmassen. Nicht so bei den Damhirschen und Elchen. Bei diesen sind die Phalangen der Beckengliedmassen breiter (Abb. 32, 34).

Die Mittelachse der Röhrbeine kommt bei den Zehen der vier untersuchten Wildwiederkäuer zusammengefasst ($N = 176$) zu 80 % mehr lateral zu liegen. Bei den 35 Zehen, wo dies nicht der Fall ist, sind 28 Vordergliedmassen und nur 7 Hintergliedmassen betroffen. Allein an den Schultergliedmassen der Damhirsche schneidet die verlängerte Mittelachsenlinie des Ossa metacarpalia die Verbindungslinie zwischen den Klauenbeinspitzen durchschnittlich mehr medial.

6.3 Vergleich der Befunde der Messungen am Klauenschuh mit den gemessenen Zehenlängen und -breiten des Klauenbeins

6.3.1 Gämsen

An den Vordergliedmassen der Gämsen sind sowohl die mediale Dorsalwand wie auch die das mediale Klauenbein signifikant länger als die entsprechenden lateralen Werte, bei den Breiten von Ballen, Sohle und Klauenbein verhält es sich umgekehrt. An den Hintergliedmassen sind die lateralen Klauenbeine länger als die medialen, jedoch kann bei den Dorsalwandlängen kein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden. An den Hintergliedmassen kann kein Unterschied zwischen den Innen- und Aussenklauen hinsichtlich der Sohlen- und Ballenbreiten festgestellt werden. Das laterale Klauenbein stellt sich jedoch im Röntgenbild deutlich breiter als das mediale dar. Die Sohlen und Ballen der Vordergliedmassen sind breiter als die der Hintergliedmassen.

6.3.2 Bisons

Sowohl die Dorsalwandlänge als auch die Klauenbeinlänge sind an den Schultergliedmassen medial grösser als lateral. In den Breitenmassen weisen Ballen, Sohlen und Klauenbein an den Aussenklauen die grösseren Werte als an den Innenklauen auf.

An den Beckengliedmassen ist das mediale Klauenbein länger als das laterale, obschon die laterale Dorsalwandlänge der Beckengliedmasse länger als die mediale ist. Ballen, Sohlen und Klauenbein sind an den lateralen Klauen jeweils breiter als an den medialen. Alle Längen- und Breitenmasse sind an den Schultergliedmassen grösser als an den Beckengliedmassen.

6.3.3 Damhirsche

Sowohl an den Schulter- wie auch an den Beckengliedmassen sind die Dorsalwände und Klauenbeine der medialen Klauen länger als die der lateralen. Hinsichtlich der Sohlen-, Ballen- und Knochenbreiten weist die laterale Klaue an Vorder- und Hintergliedmassen die grösseren Werte auf. Der Vergleich zwischen den Klauen- und Knochenlängen sowie Klauen- und Knochenbreiten der Vorder- und Hintergliedmassen fällt nicht signifikant aus.

6.3.4 Elche

Die Dorsalwandlängen der Elchklaue sind an den Vordergliedmassen lateral und medial im Mittelwert etwa gleich lang, an den Hintergliedmassen sind die medialen Dorsalwände etwas länger als die lateralen. Die lateralen Klauenbeine sind jedoch an Hinter- und Vordergliedmasse länger. Alle lateralen Ballen, Sohlen und Knochen sind breiter als die entsprechenden der medialen Seite. Im Vergleich zwischen Schulter- und Beckengliedmasse sind nur die Ballen der Vordergliedmassen etwas breiter als die der Hintergliedmassen. Die Klauenbeine sind an den Hintergliedmassen jedoch länger und breiter als an den Vordergliedmassen.

In den meisten Fällen sind die Klauen der Schultergliedmassen grösser dimensioniert als die der Beckengliedmassen. Die Aussenklauen sind an den Beckengliedmassen im Vergleich zu den Innenklauen breiter. Nach den angeführten Messergebnissen ergibt sich jedoch hinsichtlich der übrigen verglichenen Parameter kein uniformes Bild. Die tierartlichen und tierindividuellen Unterschiede sind zu vielfältig.

7. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit werden verschiedene Wildwiederkäuerarten auf die Hypothese untersucht, dass ein anatomischer Längenunterschied zwischen den lateralen und medialen Zehen besteht. Bei Rindern weisen viele Untersuchungen (Nacambo, 2004; Schwarzmann, 2005, Muggli, in Bearbeitung) darauf hin, dass zumindest an den Beckengliedmassen die laterale Zehe länger ist.

Jede der für die vorliegende Untersuchung ausgewählten Arten bewohnt unterschiedliche Biotope, vom Hochgebirge über Prärien bis hin zu Wäldern und Sumpfgebieten. Durch diese Auswahl kann gezeigt werden, dass es sich bei einem eventuell vorhandenen Längenunterschied der Zehenknochen nicht allein um ein Zuchtmerkmal von Hausrindern, sondern um eine evolutionsbedingte Entwicklung der Paarhufer im weiteren Sinn und der Wiederkäuer im engeren Sinn handelt. Die Anzahl der Tiere beläuft sich aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit auf 11 pro Tierart. Diese relativ kleinen Tierzahlen verhindern eine weitere Auswertung nach Geschlecht, Herkunft, Haltungsbedingungen oder Alter (Schwarzmann, 2005). Bei einem arttypischen Merkmal sind diese Parameter jedoch nicht von primärer Bedeutung.

Die zusätzliche Vermessung der Klauen erfolgt in der vorliegenden Untersuchung, damit ein eventuell bestehender Grössenunterschied zwischen lateraler und medialer Klaue bei Wildwiederkäuern dokumentiert werden kann. Ein derartiger Grössenunterschied steht wahrscheinlich mit einer unterschiedlichen Zehenlänge im Zusammenhang (Nuss und Paulus, 2006). Die Dorsalwandlänge, die Ballen- und die Sohlenbreite werden als Parameter ausgewählt und wie von Paulus (2004) beschrieben vermessen. Bei diesen Parametern können die Messpunkte auch ohne festgelegte Sohlendicke und ohne Klauenpflege definiert werden. Die Klauenpflege wird bei den Präparaten vor allem deswegen nicht durchgeführt, weil keine standardisierte Technik für diese Tiere beschrieben ist, so dass Ungleichheiten in der Klauenform oder Verletzungen der Lederhaut entstehen könnten. Die Herstellung einer

definierten Sohlendicke und nachfolgende Klauenmessungen hätten den Rahmen dieser Untersuchung gesprengt. Da die Klauen dem Veterinär-Anatomischen Institut der Vetsuiss-Fakultät Zürich zur Verfügung gestellt werden, können entsprechende Messungen immer noch durchgeführt werden. In der vorliegenden Untersuchung werden alle Klauen von derselben Person vermessen, so dass die Messgenauigkeit hinterfragt werden kann. Die Werte werden nicht, wie in anderen Untersuchungen, wiederholt erhoben und dann ein Mittelwert gebildet. Dadurch kann die Genauigkeit der Ergebnisse leiden, weil lediglich einmal erhobene Messungen grösseren Schwankungen unterworfen sind. Die in der vorliegenden Untersuchung erhobenen Werte sind jedoch infolge der gut auffindbaren, definierten Messpunkte aussagekräftig. Bisher sind in der verfügbaren Literatur keine derartigen Messungen bei den in dieser Arbeit untersuchten Wildwiederkäuern zu finden.

In der vorliegenden Arbeit zeigen sich die Dorsalwandlängen der medialen Klauen länger als die der lateralen Klauen, wie es auch bei Rindern von verschiedenen Autoren beschrieben wird (Nacambo et al., 2004; Schwarzmann, 2005; Paulus und Nuss, 2006). Als Ausnahme gehen bei dieser Studie die Vordergliedmassen der Elche und die Hintergliedmassen der Bisons (Abb. 25 und 26) hervor. Bei den Elchen sind die medialen Dorsalwände nur an den Beckengliedmassen länger. Dies stimmt jedoch mit den Angaben von Kendelbacher (1935) überein, der feststellt, dass die Zehenwandlänge der Elche der Vordergliedmassen an den lateralen wie medialen Schalen 9.5 cm beträgt, die Längen jedoch an den Hintergliedmassen an der medialen Klaue grösser sind als an der lateralen. Nach der vorliegenden Untersuchung betragen die Dorsalwandlängen an den Schultergliedmassen 8.5 cm, an den Beckengliedmassen etwa 9.6 cm.

Mit Ausnahme der Gämsen, bei denen kein Unterschied festgestellt werden kann, sind die Ballen und Sohlen bei den untersuchten Wildwiederkäuern an den lateralen Klauen jeweils breiter. Das Vorliegen dieses Unterschieds entspricht

den Ergebnissen der Klauenvermessungen bei Kälbern (Nacambo et al., 2004; Schwarzmann, 2005), Hausrindern (Nuss und Paulus, 2006) und Elchen (Kendelbacher, 1935). Die Ballen und Sohlen der Schultergliedmassen sind bei den Wildwiederkäuern meist breiter als die der Beckengliedmassen. Auch dies entspricht früheren Erkenntnissen sowie den Befunden beim Hausrind, und ist durch die Lage des Körperschwerpunktes, der kranial der Mitte der Körperlängsachse liegt, bedingt. In vielen Fällen ist bei den Wildwiederkäuern auch ein deutlicher Höhenunterschied zwischen dem Kronsaum der Aussen- und Innenklaue sichtbar (Abb. 18, 24), ein weiteres Indiz, dass die laterale Klaue weiter nach distal reicht.

An einzelnen Tieren können alters- und haltungs-, eventuell auch fütterungsbedingte Veränderungen an den Zehenknochen und den Klauen dokumentiert werden, beispielsweise bei einer 18-jährigen Bisonkuh und einem 9-jährigen Elch. Bei der Bisonkuh zeigten die Aussenzehen an Schulter- und Beckengliedmassen, deutlich schwerwiegendere knöcherne Veränderungen als die Innenzehen (Abb. 14). Besonders auffällig, und dem Zustand bei vielen Milchkühen ähnlich, zeigt sich auch der Unterschied in der Klauengrösse der Beckengliedmassen der besagten Bisonkuh und dem im Wildpark lebenden Elchbullen: Die Aussenklauen der Beckengliedmassen sind stark vergrössert und die Hohlkehlung kaum sichtbar. Diese evidenten Grössenunterschiede und Knochenveränderungen sind an den Klauen von etwa gleichaltrigen, in Freiheit lebenden Tieren nicht vorhanden. Deswegen scheint es nahe liegend, dass die Haltung auf beschränktem Raum, in Verbindung mit harten Böden und zu intensiver Fütterung, im Lauf der Zeit auch bei Wildrindern zur Hypertrophie der Aussenklauen der Beckengliedmassen führen kann.

Die Technik für die Röntgenaufnahmen wird in der eigenen Untersuchung standardisiert und für alle Präparate gleich angewendet. Die Zehen werden auf ihrer dorsalen Seite liegend, in gestreckter Haltung auf den Röntgenkassetten positioniert. Dies stimmt zwar nicht mit der natürlichen Gelenkwinkelung

überein, jedoch können die Zehen auf diese Weise gut verglichen werden. Weniger geeignet wäre die Lagerung und nachfolgende Abbildung auf der palmaren/plantaren Seite der Zehen, weil in dieser Position die Zehengelenke wegen der unregelmässig vorstehenden Afterklauen gebeugt und die Längenbestimmung erschwert wären. Mit der Lagerung auf der Dorsalseite wird auch erreicht, dass die Überlagerung des Processus extensorius des Klauenbeins durch das distale Ende des Kronbeins minimiert wird. Die Längenmessungen der Fesselbeine, Kronbeine und Klauenbeine bereiten in dieser Position keine Schwierigkeiten, da der Übergang von Knochen zu Gelenkspalt stets gut angesprochen und somit die Messpunkte exakt gesetzt werden können. Damit eine möglichst hohe Messgenauigkeit erreicht werden kann, werden die digitalisierten Röntgenbilder im Computerprogramm Metron PX™ auf 200 % vergrössert. Gemäss Vargas (Vargas, 2004) ist eine Vergrößerung von 150 % optimal, da ein kleinerer Variationskoeffizient ermittelt werden kann als bei einer Vergrößerung von 75 %. Er führt aber keine Vergleichsmessungen bei 200 % durch. Eine gute Bildqualität ist Voraussetzung, damit die Bilder überhaupt so stark vergrössern werden können, denn sonst sind Konturen nicht mehr klar zu erkennen. Die Bildqualität ist in der vorliegenden Untersuchung gegeben. Die Messgenauigkeit wird in der vorliegenden Studie nicht speziell untersucht, da Schwarzmann und Vargas zu dieser Fragestellung bereits Untersuchungen anstellen und eine hohe Messgenauigkeit von 92 - 97 % erreichen (Vargas, 2004; Schwarzmann, 2005). Eine Vergrößerung der realen Knochenlänge und -breite ist wegen der noch vorhandenen Weichteile, die den Abstand zur Folie halten, nicht zu verhindern. Da der für die Messungen verwendete Bleimassstab mit Klötzchen auf die Ebene der Knochen angehoben wird, kann die Verzerrung und projektionsbedingte Vergrößerung auf ein Minimum reduziert werden. Obwohl die Werte so in etwa den natürlichen Verhältnissen entsprechen, werden die erhaltenen Werte als nicht exakt den natürlichen Verhältnissen entsprechend eingestuft. Die digitale Röntgentechnik

erlaubt es, kleinere Belichtungsfehler auszugleichen. Bei den Vermessungen der Zehenknochen der Kälber von Schwarzmann (2005), die konventionelle Röntgenbilder einscannen und so digitalisieren muss, wird auf eine Messung der Länge des Klauenbeins verzichtet, da infolge der zu starken Schwärzung der Klauenbeinspitze durch die Röntgenstrahlen eine sicher reproduzierbare Zuordnung der Messpunkte nicht möglich ist. In der eigenen Untersuchung können die Klauenbeinspitzen dank der digitalen Aufnahmen, und wenn nötig durch Aufhellung im Verarbeitungsprogramm, gut dargestellt werden. Weil der Processus extensorius des Klauenbeines mit dem Alter der Tiere an Grösse zunimmt und knolliger wird (Simon, 1963; Ebeid, 1992), ist es bei älteren Tieren schwieriger, den proximalen Messpunkt der Längenmessung eindeutig zu setzen. Unstimmigkeiten in den Massen der Klauenbeine können demzufolge daher führen.

Die Zehen-Gesamtlänge summiert sich aus den einzelnen Längen der verschiedenen Knochen von der Klauenbeinspitze bis zur distalen Epiphyse des Röhrbeines. Die Gelenkspalten werden nicht vermessen, weil davon ausgegangen wird, dass sie an beiden Zehen gleich sind. Für die Messungen der Länge der Kondylen von Metakarpus und Metatarsus ist es notwendig, eine Grundlinie zu finden. Gut geeignet ist die Epiphysenfugenlinie, wie sie Schwarzmann (2005) für Kälber definiert. In der eigenen Untersuchung muss diese Grundlinie auch für ausgewachsene Tiere ohne sichtbare Epiphysenfuge anwendbar sein. Als Grundlinie wird deswegen eine Linie gewählt, die stets in ihrem Verlauf senkrecht zur Röhrbeinmittelachse verläuft. Damit ist die wichtigste Funktion dieser Linie, eine für alle Tiere und Zehen gleiche Ausgangslage zu bilden, erreicht. Allerdings liegt diese Linie, da die Epiphysenfuge oft geschlossen ist, nicht immer auf der gleichen Höhe, weil keine sicher reproduzierbaren Orientierungspunkte gefunden werden können. Die Längen der Kondylen der Röhrbeine entsprechen daher nicht den tatsächlichen Massen. Zur Aussage über einen Längenunterschied zwischen

lateralem und medialem Knochen eignet sich diese Grundlinie dennoch, weil sie für alle Zehenknochen gleich ist. Eine Verbesserung der Aussagekraft der vorliegenden Messungen, insbesondere hinsichtlich des Vergleichs zwischen den kontralateralen Gliedmassen, liesse sich eventuell durch strengere Anforderungen an die Irrtumswahrscheinlichkeit erreichen, indem $p < 0.01$ gesetzt wird. Ein Korrektiv für Längenmessungen liegt allerdings schon vor, da die Gesamtzehenlänge aus den Längen der Einzelknochen aufsummiert wird. Dadurch werden nur die möglichen Fehlmessungen an den Röhrlbeinen in die Gesamtlänge einbezogen, während die Längenmessungen an den Phalangen von der Grundlinie unabhängig sind.

Durch die vorliegenden Untersuchungen wird die eingangs gestellte Hypothese bestätigt: Bei den vier untersuchten Wildwiederkäuerarten besteht ein Längenunterschied zwischen den Zehenknochen zugunsten der lateralen Zehe (Abb. 35). Dies zeigt sich sowohl im Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Knochen, im Vergleich der Mittelwerte der Gesamtlängen als auch in der Verteilung der Längendominanz. An den Beckengliedmassen zeigt sich der Unterschied bei allen vier Tierarten deutlicher und ist statistisch hoch signifikant ($p < 0.01$), bei Bisons und Damhirschen ebenso an den Schultergliedmassen. Der Mittelwertvergleich ist aber auch an den Schultergliedmassen von Gämsen und Elchen noch signifikant ($p < 0.05$) unterschiedlich. An den Schultergliedmassen sind jedoch auch die medialen Zehen länger als die lateralen, oder beide Zehen sind gleich lang. Die Vermessungen der Knochenlängen ergeben, dass die Knochen der Beckengliedmassen meistens länger und schmaler sind als die entsprechenden an den Schultergliedmassen. Dies ist nicht erstaunlich, weil die Hintergliedmassen als längere Hebel für den Vorwärtsschub verantwortlich sind und die Schultergliedmassen einen grösseren Teil des Körpergewichtes auffangen müssen.

Ein deutlicher Längenunterschied zwischen den Kondylen der Ossa metacarpalia und metatarsalia wie ihn Nacambo (2005) zugunsten der

Hintergliedmasse findet, kann in diesen Untersuchungen nur bei den Elchen und Damhirschen bestätigt werden. Bei Bisons und Gämsen lassen die Ergebnisse keine eindeutige Aussage zu. Bei den Längenmessungen der Fessel- und Kronbeine können die Ergebnisse anderer Autoren bestätigt werden (Engel, 1919; Ranft, 1936; Schwarzmann, 2005), welche eine unterschiedliche Länge zugunsten der lateralen Knochen bei Hausrindern finden. Diese Autoren erhalten jedoch auch gegensätzliche Ergebnisse, und keiner bestimmt die Gesamtlänge; Schwarzmann (2005) misst immerhin die Zehenlänge bis zum Kronbein. Grosse Unregelmässigkeiten im Vergleich der eigenen Untersuchung mit denen anderer Autoren bestehen bei den Längenmessungen der Klauenbeine. Die von Ranft (1936) und Simon (1963) beschriebene Längendominanz der Klauenbeine der Vordergliedmassen gegenüber denen der Hintergliedmassen bei Rindern kann bei den Bisons und Damhirschen zwar ebenfalls festgestellt werden. Bei den Elchen und den Gämsen weisen die Klauenbeine der Beckengliedmassen jedoch grössere Längen auf als die der Schultergliedmassen. Entsprechende Befunde erhebt Ebeid (1992) in röntgenologischen Messungen bei Kühen. Die von Ranft (1936) in 75 - 85 % der Fälle beobachtete Längendominanz der medialen Klauenbeine der Vordergliedmasse kann bei den Gämsen und Damhirschen in 63 % und den Bisons in 59 % der Fälle nachgewiesen werden. Bei den Elchen ist allerdings das laterale Klauenbein bei 72 % der Zehen länger als das mediale. An den Hintergliedmassen von Rindern findet Ranft keinen derartigen Längenunterschied zwischen den Klauenbeinen (Ranft, 1936). Auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen kein einheitliches Bild. Bei den Gämsen zeigt sich eine Längendominanz der lateralen Klauenbeine bei 95 % und bei den Elchen bei 72 % der vermessenen Knochen ab. Diese Unstimmigkeiten können einerseits auf Messfehlern beruhen, andererseits können sie auch darin liegen, dass unterschiedliche Längen bei den Tierarten tatsächlich vorhanden sind. Verlässlichere Aussagen könnten durch direkte Messungen an einer grösseren Zahl von Präparaten gewonnen werden. Jedoch

kann vermutet werden, dass derlei Variationen und uneinheitlichen Ausprägungen auch natürlicherweise vorhanden sein können: Die Anforderungen an die Zehenknochen sind bei den im Hochgebirge lebenden Gämsen sicherlich anders als bei den Präriebisons. Zudem mag man spekulieren, dass unterschiedliche Zehenlängen bei Tieren, ebenso wie beim Menschen – bei dem beispielsweise Ring- und Zeigefinger oftmals zueinander in unterschiedlicher Längenbeziehung stehen – auftreten. Zuletzt kann man unterstellen, dass die Evolution in dieser Beziehung sich eine breite Basis erhalten „möchte“, damit die Tierarten für wechselnde Anforderungen gerüstet sind.

Immerhin kann festgestellt werden, dass der beschriebene Längenunterschied zwischen Aussen- und Innenzehe sich auf weichem Boden bewährt haben muss. Wenn diese Arten jedoch auf engem Raum und auf hartem Boden gehalten werden, kann die Aussenklaue der Beckengliedmassen überlastet werden und, wie beim Hausrind, erkranken. Die Natur hat bisher nicht reagiert und die Hausrinder an die Haltungsbedingungen so angepasst, dass Tiere mit gleichlangen Zehen in der Mehrzahl sind. Sie wird darin aber auch durch den Menschen behindert, der eine Klauenpflege durchführt und - zumindest teilweise - für weiche Liegeplätze sorgt. Hausrinder, die auf harten Stallböden leben müssen, könnten theoretisch auf gleich lange Zehen hin gezüchtet werden, was möglicherweise die Inzidenz von Klauenerkrankungen senken würde. Sinnvoller erscheint es jedoch, für artgerechte Stallböden und Haltungsbedingungen zu sorgen.

Für Genauigkeit der Messung der Zehenlängen, die Hauptuntersuchung dieser Arbeit, sind die Lagerung der Präparate, die standardisierte Röntgentechnik und das Festlegen der Messpunkte essentiell. Die korrekte Lagerung wird durch die beschriebenen Massnahmen recht gut erreicht, wobei es in manchen Fällen zu geringgradigen Abweichungen in der Symmetrie kommt. Für die Längenmessung dürfte die Symmetrie keine entscheidende Rolle spielen. Diese

macht sich vor allem in der Abbildung der Klauenbeine bemerkbar; es kann somit nicht sicher ausgesagt werden, um wie viel die lateralen Klauenbeine tatsächlich breiter sind als die medialen. Beim Rind, bei dem direkte Messungen durchgeführt werden, sind an der Vordergliedmasse die medialen Klauenbeine länger und grösser als die lateralen, an den Hintergliedmassen gibt es ein uneinheitliches Bild (Simon, 1963). Auch bei den Breitenmessungen der übrigen Zehenknochen kann nicht mit Sicherheit angegeben werden, ob sie den tatsächlichen Verhältnissen exakt entsprechen. Dies macht sich auch darin bemerkbar, dass für die kontralateralen Zehenbreiten teilweise signifikante Unterschiede gemessen werden. Diese bewegen sich jedoch knapp unterhalb der Signifikanzgrenze von $p < 0.05$. Schwarzmann verzichtet auf eine Messung der Breite der Zehenknochen aufgrund der unsicheren Festlegung von entsprechenden Messpunkten (Schwarzmann, 2005). In den eigenen Untersuchungen wird für die Breitenmessung eine Linie gewählt, die senkrecht zur Längslinie liegt und somit in ihrem Verlauf stets definiert ist. Als weiterer Bezugspunkt wird der am weitesten axial gelegene Punkt der proximalen Gelenkfläche gewählt. Ausser bei der Breitenmessung an den Kondylen erfolgt die Messung im rechten Winkel zur Längsachse, ausgehend von dem am weitesten abaxial gelegenen Punkt der Gelenkfläche, da der axiale Teil des Knochens nach weiter distal reicht. (Abb. 10). Bei den Breitenmessungen der eigenen Untersuchungen ist aufgrund der zweidimensionalen Struktur des Röntgenbildes nicht eindeutig festzulegen, ob in den dorsopalmaren, resp. – plantaren Aufnahmen beide Messpunkte dorsal oder plantar liegen, oder ob diagonal gelegene Knochenstrukturen vermessen werden. Schliesslich wird eine dreidimensionale Struktur auf ein Röntgenbild projiziert, welches nur zwei Dimensionen aufzeigen kann. Besonders bei der Vermessung der Breite der Fesselbeine und der Klauenbeine gibt es durch eine nicht immer zu verhindernde, leichte Rotation des Knochens einen Knochenschatten, der nicht der realen Knochenbreite entspricht. Je nach Grad der Rotation, die besonders

im Klauenbein unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann, wird dadurch das Resultat ungenau.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass bei allen vier untersuchten Wildwiederkäuerarten der mediale Kondylus mehrheitlich (in 64 - 100 % der Fälle) breiter ist. In der Literatur können bisher keine Breitenmessungen der Kondylen der langen Röhrenknochen gefunden werden. Zur Knochendichte und Grösse der Markhöhle der Metapodien werden zwar Untersuchungen durchgeführt, welche den Anteil des III. Strahles als robuster als der des IV. Strahles beschreiben (Paral et al., 2004), aber keine Zahlenangaben gemacht.

Das mediale Fesselbein ist nach den eigenen Untersuchungen mehrheitlich (bei 59 - 100 % der gemessenen Knochen) breiter. Diese Befunde bestätigen die Ergebnisse der Untersuchung von Engel (1919), der findet, dass das Fesselbein der 3. Zehe „stärker“ als das der 4. Zehe ist. Ranft skizziert die lateralen Kronbeine der Rinder als „schlanker“ als die medialen. Dies kann bei den Bisons an den Vordergliedmassen zu 72 %, an den Hintergliedmassen zu 63 %, ebenso bei den Hintergliedmassen den Damhirschen zu 63 % nachgewiesen werden. Die Messung der Kronbeine der übrigen Tierarten ergibt hingegen, dass die Verteilung der Breitendominanz sehr ausgeglichen ist. Im Vergleich der Kronbeinbreiten sind jene der Vordergliedmassen bei den Untersuchungen von Ranft (1936) breiter als die der Hintergliedmassen. Ebenso ist dies bei den Gämsen, Bisons und Damhirschen der Fall. Die Elche jedoch haben die breiteren Kronbeine an den Beckengliedmassen. Die Klauenbeine sind bei den vier untersuchten Wildwiederkäuern fast immer (zu 81 – 95 %) lateral breiter. Dieses Messergebnis kommt sehr wahrscheinlich nicht nur durch eine asymmetrische Abbildung in den Röntgenaufnahmen zustande (Abb. 13). Einen wichtigen Hinweis auf den Grössenunterschied der Klauenbeine geben auch die Vermessungen der Hornschuhe der Wildwiederkäuer, denn sowohl Sohlen-, wie auch Ballenbreiten sind, mit der Ausnahme der ausgeglichenen Sohlenbreite der Gämsen, lateral grösser.

Die verlängerte Mittelachse des Röhrbeines kreuzt die Verbindungslinie bei den vier untersuchten Wildwiederkäuern ($N = 176$) zwischen den Klauenbeinspitzen in 80 % auf der lateralen Seite. Bei den 35 Zehen, bei denen dies nicht der Fall ist, sind 28 Vordergliedmassen und nur 7 Hintergliedmassen betroffen. Die Mittelachse der Extremitäten dieser Paarhufer kommt somit an den Beckengliedmassen in der Regel mehr lateral zu liegen. Wenn man die Mittelachse des Röhrbeins mit der Richtung der auf die Zehen einwirkenden Kräfte gleichsetzt, so treffen mehr Kräfte auf die lateralen Klauen. Der Verlauf dieser Linie und die längeren laterale Zehen können für eine Überlastung der Aussenklaue auf harten Böden verantwortlich sein. Diese eminente Mehrbelastung können beim Rind schon Van der Tol et al. (2002), sowie Kehler und Gerwing (2004) nachweisen. Sie stellen mit Hilfe von Druck- und/oder Bodenreaktionssensoren fest, dass bei Kühen im Stand an den Hintergliedmassen die lateralen Klauen das Hauptgewicht tragen.

Handelt es sich um eine mehr medial verlaufende Mittelachse der Röhrbeine, sind meist die Schultergliedmassen betroffen. So stellen Van der Tol et al. (2003) auch fest, dass die Bodenreaktionskräfte an den Schultergliedmassen gleichmässiger verteilt sind. Allerdings gibt es auch Messungen, dass die lateralen Klauen auch an den Schultergliedmassen verstärkt belastet werden (Carvalho et al., 2005). Insbesondere durch Hochfrequenz-Filmaufnahmen konnte gezeigt werden, dass die lateralen Klauen auch an den Schultergliedmassen zuerst fassen (Meyer, 2006). Diese anscheinend widersprüchlichen Befunde können nach den vorliegenden Untersuchungen dadurch erklärt werden, dass an den Schultergliedmassen in manchen Fällen die medialen Zehen länger sind, und auch die Röhrbeinmittelachse mehr auf der medialen Seite verläuft.

Somit kann vereinfacht zusammengefasst werden, dass bei Wildwiederkäuern die lateralen Zehen länger als die medialen sind, während die medialen Zehenknochen - bis auf das Kron- und das variable Klauenbein - breiter sind. Die Funktion dieser Unterschiede dürfte in einer besseren Standfestigkeit auf weichem Boden liegen. Die laterale Klaue dringt zuerst in den Boden ein und fixiert die Bodenhaftung, während die stärkere mediale Zehe nachfolgt und einen Teil des Gewichtes übernimmt. Wie bei den Rindern beschrieben (Ossent et al., 1987; Toussaint Raven, 1985; Van der Tol et al., 2002; Alsleben et al., 2003; Huth et al., 2004; Nuss und Paulus, 2006; Meyer et al., 2007), werden wohl auch bei den Wildwiederkäuern an den Hintergliedmassen die lateralen Klauen vermehrt belastet werden. Die 4. Zehe der Hintergliedmasse könnte demzufolge rein anatomisch wichtiger für die Statik sein und die Funktion der medialen Zehen dürfte eher in der Stabilisierung und auch Entlastung durch Gewichtsverteilung liegen. Auf weichem Boden erfolgt die Einwirkung der Kräfte fließend und überträgt sich gedämpft auf die Sehnen und Bänder. Ein Indiz dafür ist, dass bei freilebenden älteren Tieren keine Knochenveränderungen nachweisbar sind, wie bei der 19-jährigen Gämssiege, jedoch durchaus bei in Gefangenschaft lebenden, auf harten Böden gehaltenen. Bei in Gefangenschaft gehaltenen Wildwiederkäuern muss deswegen vermehrt auf die Klauengesundheit geachtet werden. Für die Wildwiederkäuer ist es wichtig, dass sie möglichst auf natürlichen, weichen Böden gehalten werden, damit die Klauen nicht überlastet werden. In weichen, feuchtem Untergrund können sich allerdings pathogene Bakterien wie *Fusobacterium necrophorum* oder *Bacteroides nodosus* länger halten und ansammeln, so dass es zu Hauterkrankungen oder Phlegmonen kommen kann. Diese Problematik wird dadurch abgemildert, dass Wildwiederkäuer meist mehr Platz zur Verfügung haben und nicht den Leistungsanforderungen wie die Milchrinder unterworfen sind.

8. Literaturverzeichnis

ALSLEBEN, B., A. RUSSKE, J. WREDE, H. HAMANN und O. DISTL (2003)

Messung der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsche Holsteins in den ersten zwei Lebensjahren.
Der Praktische Tierarzt 84(3): 232-40.

BARTOSIEWICZ, L. (1987)

Bone morphometry and function: a comparison between cattle and european elk.
Acta Veterinaria Hungarica 35(4), 437-48.

BERGER, G. (1988)

Art und Verteilung von Klauenerkrankungen auf die einzelnen Zehen bei Kühen in einstreuloser Laufstallhaltung.
Monatshefte für Veterinärmedizin 43(23): 821-25.

BRANDT (1888)

Vergleichende anatomische Untersuchungen über die Griffelbeine (Ossa calamiformia) der Wiederkäuer.
Zoologischer Anzeiger. Band 11. Zitiert aus KENDELBACHER E. (1935)
Vergleichend anatomische und histologische Untersuchungen am Vorder- und Hinterfuss von Rind und Elch. Inaugural-Dissertation. Veterinärmedizinische Fakultät. Giessen, Hessischen Ludwigs-Universität.

CARVALHO, V., R. BUCKLIN, J. SHEARER und L. SHEARER (2005)

Effects of trimming on dairy cattle hoof weight bearing and pressure distributions during the stance phase.
Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 48(4): 1653-9.

CLARKSON, MJ., DY. DOWNHAM, WB. FAULL, JW. HUGHES, FJ. MANSON, JB. MERRITT, RD. MURRAY, WB. RUSSEL, JE. SUTHERST und WR. WARD (1996)

Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle.
Veterinary Record 138(23): 563-7.

EBEID, M. (1992)

Radiographic appearance of the healthy and diseased claws in Swiss Braunvieh Cattle.
Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

EBEID, M. und A. STEINER (1996)

Guidelines for taking and interpreting radiographs of the bovine foot.
Veterinary Medicine: 268-72.

ELLENBERGER, W. und H. BAUM (1943)

Das Skelett der Gliedmassen. In: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage Berlin, Verlag Julius Springer: 118-89.

ENGEL, E. (1919)

Vergleichend-anatomische Untersuchung über die Zehenknochen vom Pferd, Rind, Ziege und Schaf.

Inaugural-Dissertation. Dresden, Universität Leipzig.

FARHADIAN, O. und S. SOROORI (2006)

Normal radiographic evaluation of manus and pes in camel.

Proceedings of the 14th International Symposium & 6th Conference on Lameness in Ruminants, Colonia del Sacramento, Uruguay: 217.

FOWLER, ME. (1980)

Hoof, claw, and nail problems in nondomestic animals.

Journal of the American Medical Association 177:885-93.

HABACHER, F. (1948)

Der Huf- und Klauenbeschlag.

Inaugural-Dissertation. Veterinärmedizinische Universität Wien..

HUTH, C., A. RUSSKE, B. ALSLEBEN, H. HAMANN und O. DISTL (2004)

Body and claw measurements and pressure distribution under the claws in calves of different cattle breeds.

Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift 117(7-8): 316-326.

KAMKE, E. und U. KAMKE (2007)

Der Elch - Alces Alces. Kiel, www.alces-alces.com.

KEHLER, W. und T. GERWING (2004)

Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of german holstein cows.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija: 103-4.

KENDELBACHER, E. (1935)

Vergleichend-anatomische und -histologische Untersuchungen am Vorder- und Hinterfuss von Rind und Elch. Inaugural-Dissertation. Veterinärmedizinische Fakultät Giessen, Hessischen Ludwigs-Universität.

LEE C., DR COURT, C. CHO, JL. HASLETT JL und CC LIN (1997)
Higher-order organization of subrepeats and the evolution of cervid satellite I DNA.

Journal of Molecular Evolution 44: 327-335.

MARTIG, J., W. LEUENBERGER und M. DOZZI (1979)
Häufigkeit und Art von Klauenläsionen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren.

Schweizer Archiv für Tierheilkunde 121: 577-91.

MEYER, SW. (2006)

Hochfrequenzkinematographische Untersuchungen des Fussungsvorganges von Rindern auf dem Laufband.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

MEYER, SW., K. NUSS und MA. WEISHAUP (2004)

Cattle locomotion patterns: A high speed cinematographic study on the treadmill.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia: 71-73.

MEYER, SW., MA. WEISHAUP und K. NUSS (2007)

Gait patterns of heifers before and after claw trimming: A high-speed cinematographic study on a treadmill.

Journal of Dairy Science 90: 670-676.

MUGGLI, E. (in Bearbeitung)

Unterschiede in der Zehenlänge bei Rindern.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

NACAMBO, S., M. HÄSSIG, C. LISCHER und K. NUSS (2004)

Difference in length of the metacarpal and metatarsal condyles and the correlation to claw size.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia: 104-106.

NACAMBO, S. (2005)

Difference in the length of the metacarpal and metatarsal condyles in calves and cows.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

NICKEL, R., A. SCHUMMER und E. SEIFERLE (2004)

Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 1. 8., unveränderte Auflage. R. Nickel, A. Schummer, KH. Wille und H. Wilkens. Parey Verlag, Stuttgart: 76-91.

NUSS, K., RG. KÖSTLIN, H. BÖHMER und MP. WEAVER (1990)

Zur Bedeutung der Ungulocoriitis septica (traumatica) - UCS(T) - an der Klauenspitze („Sohlenspitzeneschwür“) des Rindes.
Tierärztliche Praxis 18: 567-75.

NUSS, K. und N. PAULUS (2006)

Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming: A post-mortem study.
The Veterinary Journal 172(2): 284-92.

NÜSKE, S., A. SCHOLZ und M. FÖRSTER (2004)

The claws of heifers and bulls within the first two years of their lives - a contribution to the development of the horn capsula considering different breeding lines and genders.
Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija: 73-5.

NÜSSLEIN, F. (2002)

Das Praktische Handbuch der Jagdkunde, BLV Verlagsgesellschaft, München: 14-22.

OSSENT, P., DJ. PETERSE und HC. SCHAMHARDT (1987)

Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb.
Journal of Veterinary Medicine 34(A): 296-300.

PARAL, V., F. TICHY und M. FABIS (2004)

Functional structure of metapodial bones of cattle.
Acta Veterinaria, Brno, Czech Republic 73: 413-420.

PAULUS, N. (2004)

Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmassen von Fleckviehrindern.
Inaugural-Dissertation, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

PAULUS, N. und K. NUSS (2002)

Claw measurements at defined sole thickness.
Proceedings of the 12th International Symposium on Lameness in Ruminants, Orlando, Florida, USA: 428-430.

PAULUS, N. und K. NUSS (2006)

Unterschiede zwischen den Abmessungen von lateraler und medialer Klaue an den Beckengliedmassen bei Jungbullen.

Tierärztliche Praxis 34(G): 86-93.

RANFT, WH. (1936)

Die feineren anatomischen Merkmale der Zehenknochen, speziell der Klauenbeine, des Rindes.

Morphologisches Jahrbuch 78: 377-420.

RUSTERHOLZ, A. (1920)

Das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes.

Schweizer Archiv für Tierheilkunde 62: 421-66, 505-25.

SCHÄFFER, J. (2005)

Metapodien der Artiodaktylen. Persönliche Mitteilung an K. NUSS. Hannover.

SCHMID, T., K. NUSS, SW. MEYER und M. WEISHAUPT (2006)

High-speed cinematographic evaluation of gait and ground contact patterns of 30 cattle on a treadmill.

Proceedings of the 15th Annual ECVS Scientific Meeting, Sevilla, Spain: 181-2.

SCHWARZMANN, B. (2005)

Untersuchungen der Klauengrößen und der Zehenlänge bei Kälbern - klinische und röntgenologische Befunde.

Inaugural-Dissertation. Rinderabteilung der Chirurgischen Tierklinik. Ludwig-Maximilians-Universität, München.

SIMON, G. (1963)

Untersuchungen über altersbedingte Veränderungen der Klauenbeine des Rindes.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

SIMPSON, CD. (1984)

Artiodactyls. In: Orders and Families of Recent Mammals of the World. S.

Anderson und JK. Jones. New York: 563-87.

THENIUS, E. (1988)

Paarhufer. In Grzimeks Enzyklopädie Säugetiere. Kindler Verlag, Berlin. (5) 4-15.

TOUSSAINT RAVEN, E. (1985)

The principles of claw trimming.

The Veterinary Clinics of North America – Food Animal Practice, 1: 93-107.

VAN DER TOL, PP., JH. METZ, EN. NOORDHUIZEN-STASSEN, W. BACK, CR BRAAM und WA. WEIJS (2002)

The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate.

Journal of Dairy Science. 85(6): 1476-81.

VAN DER TOL, PP., JH. METZ, EN. NORDHUIZEN-STASSEN, W. BACK, CR. BRAAM und WA. WEIJS (2003)

The vertical ground reaction force and the pressure distribution on the claws of dairy cows while walking on a flat substrate.

Journal of Dairy Science. 86(9): 2875-83.

VAN DER TOL, PP., SS. VAN DER BEEK, JH. METZ, EN.NOORDHUIZEN- STASSEN, W. BACK, CR. BRAAM und WA. WEIJS (2004)

The effect of preventive trimming on weight bearing and force balance on the claws of dairy cattle.

Journal of Dairy Science. 87(6): 1732-8.

VARGAS, J. (2004)

Evaluation des Messprogramms Metron PX™ zur morphometrischen Beschreibung von Röntgenbildern des Pferdehufes.

Inaugural-Dissertation. Pferdechirurgie. Vetsuisse-Fakultät, Zürich.

WALKER, EP. (1968)

Artiodactyla. In: Mammals of the world. 2. Auflage, Band 2. The Johns Hopkins Press, Baltimore: 1355-469.

9. Lebenslauf

Anna Margaretha Keller

geboren am 10. Dezember 1976, Heimatort Schwellbrunn (AR), Schweiz.

| | |
|-------------|--|
| 1983 – 1988 | Primarschule Ettingen, BL |
| 1988 – 1992 | Progymnasium Therwil, BL |
| 1992 – 1996 | Gymnasium Oberwil, BL, Matura Typus Wirtschaft |
| 1994 | Auslandjahr in Neuseeland |
| 1997 – 2002 | Studium der Veterinärmedizin an den Universitäten Basel und Zürich mit Approbation zur Tierärztin |
| 2003 – 2005 | Assistentin in der Gemischtpraxis Dres. Bühlmann, Ruswil (LU) |
| 2005 – 2007 | Assistentin und Doktorandin am Departement für Nutztiere der Universität Zürich bei Karl Nuss, Abteilung Chirurgie |
| 2007 – | Assistentin in der Gemischtpraxis Dr. Markus Stöckli, Rothenburg (LU) |

Zürich, im Juli 2007

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen, die zur Entstehung der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, herzlich danken, insbesondere

Herrn PD Dr. Karl Nuss für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats und die unermüdliche Unterstützung bei der Dissertation und im Klinik-Alltag.

Herrn Prof. Dr. Jean-Michel Hatt für die Übernahme des Korreferates.

Herrn Dr. Marcus Clauss für das Organisieren der Zehen der Elche aus Finnland, der Damhirsche aus dem Wildpark Langenberg und der Bisons aus einem Tierpark in München.

Herrn Prof. Dr. Ueli Braun für die Erlaubnis zur Nutzung der Infrastruktur der Klinik für Nutztiere, sowie die Übernahme der Kosten.

Frau Evelyne Muggli für die gegenseitige Motivation, die vielen Frustkaffis, den regen Ideenaustausch und die freundliche Hilfestellung bei Computerproblemen.

Den Jägern und Wildhütern aus dem Kanton Obwalden: Werner Bissig, Eugen Gasser und Sepp Schmidli für die Beschaffung der Phalangen der Gämsen.

Der Bisonranch in Les Prés-d'Orvin/BE und der Familie Sigrist in Menznau/LU für die Überlassung der Zehen von je zwei Bisons.

Allen MitarbeiterInnen der Abteilung für Bildgebende Diagnostik für die Hilfe beim Entwickeln der Röntgenbilder, insbesondere Frau Prof. Dr. B. Kaser-Hotz für die wertvollen Tipps zur Durchführung der radiologischen Untersuchungen.

Meinen Eltern für das finanzielle Ermöglichen des Studiums, das Korrekturlesen, die Zeichnungen der Wildwiederkäuer und die Liebe und Unterstützung in den letzten 30 Jahren.

Meinem Schatz Othmar für seine Liebe, Motivation und Reisen nach Zürich.

Der Familie Bühlmann in Ruswil für die geduldige und gründliche Einführung in das Berufsleben und die Unterstützung und Motivation meine beruflichen Wege weiter zu gehen.